บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้การทำความเข้าใจในเรื่องความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของค่าพิกัด GPS เป็นไปโดยง่ายควรเริ่มจากการศึกษาถึงความเป็นมาของระบบ GPS และองค์ประกอบโดยรวมของระบบเพื่อให้ทราบว่าแต่ละส่วนนั้นมีหน้าที่อย่างไร จากนั้นจึงทำความเข้าใจในหลักการทำงาน ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของค่าพิกัด GPS รวมถึงอนาคตของระบบ GPS เมื่อมีความเข้าใจในหลักการเบื้องต้นจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคในการรังวัด ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับระบบ GPS แบบปรับแก้ผลต่าง (DGPS) เพื่อให้ทราบสาเหตุและรูปแบบของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากนั้นจึงหาวิธีการในการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของค่าพิกัด GPS ต่อไป

นอกจากระบบ GPS แล้วควรศึกษาระบบนำร่องด้วยดาวเทียมอื่น ๆ เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานว่ามีรูปแบบที่คล้ายคลึงหรือแตกต่างกันเช่นไรเพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาหรือปฏิบัติงานในอนาคต

สุดท้ายเป็นการทำความเข้าใจว่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของค่าพิกัด GPS ที่เกิดขึ้นนั้นมีผลต่อการนำไปใช้งานอย่างไร มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้อย่างไรบ้าง

ความเป็นมาของระบบ GPS

ในช่วง ค.ศ. 1970 มีระบบที่ใช้กำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกหลายชนิดอาทิเช่น ระบบเรดาห์ และ ดาวเทียมระบบ Transit แต่ละชนิดนั้นยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพงตลอดจนมีขีดจำกัดมาก เช่น ระยะปฏิบัติการ การครอบคลุมพื้นที่ ความละเอียดถูกต้อง (Hoar, 1982) ในปี ค.ศ.1973 กระทรวงกลาโหมสหรัฐ ฯ จึงได้จัดตั้งสำนักงานแผนงานร่วม (Joint Program Office – JPO) ขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ในการพัฒนาระบบการกำหนดตำแหน่งโดยอาศัยคลื่นวิทยุที่ส่งมาจากดาวเทียมโดยให้กองทัพเรือ และกองทัพอากาศ ทำการวิจัยและพัฒนาระบบร่วมกัน ดังนั้นจึงได้เกิดแนวหลักการ NAVigation Satellite Timing and Ranging (NAVSTAR) Global Positioning System (GPS) ขึ้นซึ่งมักเรียกสั้น ๆ ว่า ระบบ GPS (หัสฎี วงศ์อิศเรศ, 2548)

การพัฒนาดาวเทียม GPS ในแต่ละช่วงเรียกแทนว่าเป็น BLOCK กลุ่มดาวเทียม GPS ใน BLOCK I เป็นช่วงเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนาระบบ ดาวเทียมสี่ดวงแรกปล่อยขึ้นสู่วงโคจร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อปี ค.ศ. 1978 ดวงสุดท้ายปล่อยขึ้นไปในเดือน ตุลาคม ค.ศ. 1985 รายละเอียดที่สำคัญของดาวเทียมใน BLOCK I นี้คือ มีการใช้ Cesium และ Rubidium ในการผลิตความถี่มาตรฐานที่คงที่ได้สำเร็จ โดยมีความเที่ยงตรงของระบบเวลาค่อนข้างสูงคลาดเคลื่อนเพียง 2-3 ส่วนใน 10^{13} ส่วนต่อวัน ระบบเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมใน BLOCK I ได้รับการออกแบบให้ปฏิบัติการครอบคลุมพื้นที่ Army Yuma Proving Ground ที่เมือง Yuma รัฐ Arizona โดยกลุ่มดาวเทียมจะแบ่งออกเป็นสองระนาบ (PLANE) แต่ละระนาบทำมุมกัน 120 องศา และทำมุมเอียงกับเส้นศูนย์สูตร 63 องศา (Leick, 1995) ตัวอย่างดาวเทียม GPS BLOCK I แสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ดาวเทียมระบบ GPS BLOCK I (รู้จักกับ GPSThai2002, 2551)

ดาวเทียม BLOCK II ถูกผลิตโดยบริษัท Rockwell International มีอายุการใช้งานนาน 7.5 ปี มีน้ำหนัก 1860 lb เมื่ออยู่ในวงโคจร ได้รับการปล่อยขึ้นสู่วงโคจรครั้งแรกในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1989 ในช่วงนี้ได้มีการปรับแผนการปฏิบัติงานให้มีกลุ่มดาวเทียมจำนวน 21 ดวง และอะไหล่อีก 3 ดวง บนวงโคจร (รวมเป็น 24 ดวง) เพื่อที่จะทำให้สามารถปฏิบัติการได้ครอบคลุมทั่วทุกแห่งบนโลก ตลอดเวลา และมีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น (หัสฎี วงศ์อิศเรศ, 2548) จากอดีตจนถึงปัจจุบันดาวเทียม GPS ได้ถูกสร้างขึ้นมาทั้งหมด 5 รุ่น ได้แก่ GPS BLOCK I, BLOCK II/IIA, BLOCK IIR/IIR-M และ BLOCK IIF สำหรับ BLOCK III ยังอยู่ในช่วงพัฒนาโครงการ (Defense Science Board, 2005) ตัวอย่างดาวเทียม GPS BLOCK II แสดงในภาพที่ 2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 2 ดาวเทียมระบบ GPS BLOCK II (Navstar Global Positioning System, 2008)

ในปัจจุบัน(พ.ศ.2552) มีดาวเทียม GPS ปฏิบัติงานอยู่ในอวกาศทั้งสิ้นจำนวน 31 ดวง โคจรอยู่ใน 6 ระนาบ ระนาบละ 5 ดวง ยกเว้นระนาบ A ที่มีดาวเทียมโคจรอยู่ 6 ดวง (U.S. Coast Guard Navigation Center, 2009) สำหรับดาวเทียม GPS ที่ยังคงทำงานอยู่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

BLOCK IIA ดาวเทียมรุ่นนี้จะมีหมายเลข SVN ตั้งแต่ 22 ถึง 40 สามารถทำงานได้ต่อเนื่องนาน 180 วันโดยไม่ต้องติดต่อกับสถานีควบคุม ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนาน 7.3 ปี ดาวเทียมแต่ละดวงบรรจุด้วยนาฬิกาอะตอมมิค 4 ชุด ได้แก่นาฬิกา Cesium สองชุดและ Rubidium สองชุด พร้อมด้วยระบบ Selective Availability (SA) และ Anti-Spoof (A-S) ดาวเทียมรุ่นนี้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรที่ Cape Canaveral Air Force Station รัฐ Florida โดยกระสวยอวกาศ Delta II

BLOCK IIR/IIR-M มีหมายเลข SVN ตั้งแต่ 41 ถึง 61 ถูกผลิตโดยบริษัท Lockheed Martin สามารถทำงานได้ 14 วันโดยไม่ต้องติดต่อกับสถานีควบคุม และสามารถนำร่องอัตโนมัติ (AUTONAV)ได้นาน 180 วันโดยไม่มีการติดต่อกับสถานีควบคุม ด้วยการแลกเปลี่ยนข้อมูลการนำร่องระหว่างดาวเทียม BLOCK IIR/IIR-M ด้วยกันเอง ดาวเทียมทั้งสองรุ่นได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนาน 7.8 ปี แต่ละดวงบรรจุด้วยนาฬิกาอะตอมมิค Rubidium สามชุด พร้อมด้วยระบบ SA และ A-S

สำหรับโครงการในอนาคตจะมีการปล่อยดาวเทียม BLOCK IIF จำนวน 12 ดวง และ BLOCK III จำนวน 30 ดวง (United States Naval Observatory, 2009)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

องค์ประกอบของระบบ GPS

ระบบ GPS แบ่งออกเป็น 3 ส่วน (Leick, 1995) ดังแสดงในภาพที่ 3 ได้แก่

1. ส่วนอวกาศ (Space Segment)

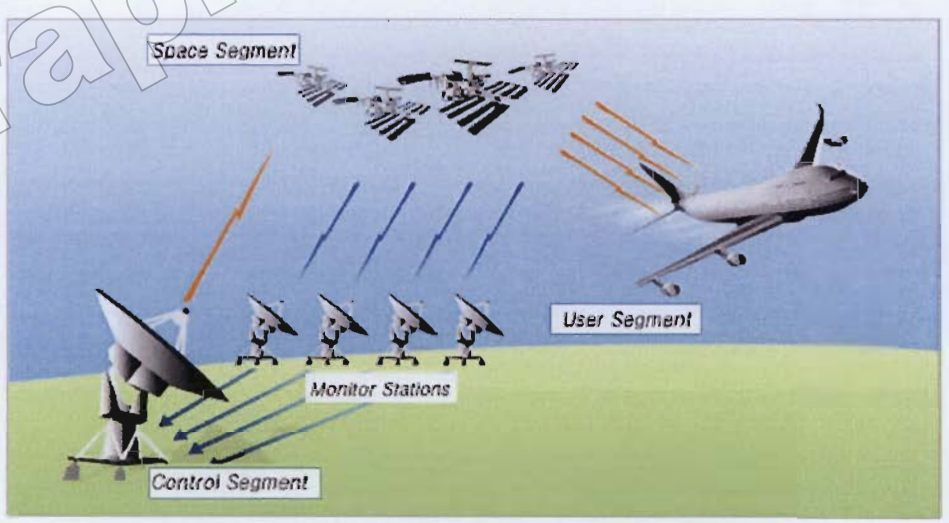
ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง เคลื่อนที่บน 6 พื้นวงโคจร พื้นวงโคจรละ 4 ดวง แต่ละพื้นวงโคจรทำมุม 55 องศากับระนาบอีเควเตอร์ ดาวเทียมโคจรด้วยความสูง 20,200 กิโลเมตร แต่ละรอบวงโคจรใช้เวลา 12 ชั่วโมง

ดาวเทียม GPS มีความถี่พื้นฐานคือ 10.23 MHz ซึ่งได้มาจากนาฬิกาอะตอมมิคในดาวเทียม จากความถี่พื้นฐานนี้ทำให้ดาวเทียม GPS ส่งคลื่นรหัส C/A code และคลื่นรหัส P code มากับคลื่นพาห์ใน 2 ความถี่ คือ

คลื่นพาห์ L1 ความถี่ 1574.42 MHz (ได้มาจากความถี่พื้นฐานคูณด้วย 154) ปรุงแต่งด้วยคลื่นรหัส C/A code ความถี่ 1.023 MHz และคลื่นรหัส P code ความถี่ 10.23 MHz

คลื่นพาห์ L2 ความถี่ 1227.60 MHz (ได้มาจากความถี่พื้นฐานคูณด้วย 120) ปรุงแต่งด้วยคลื่นรหัส P code ความถี่ 10.23 MHz

คลื่นรหัส C/A code และ P code จะทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน P code เป็นรหัสยาวมีความยาวคลื่น 30 เมตร และซ้ำทุก 267 วัน ให้ความถูกต้องในการรังวัดสูงแต่ผู้ใช้เข้าถึงรหัสนี้ได้ยาก C/A code เป็นรหัสสั้นมีความยาวคลื่น 300 เมตร และซ้ำทุก ๆ 1/1,000 วินาที ให้การรังวัดที่หยาบกว่า P Code



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของระบบGPS (GPS overview, 2008)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ส่วนควบคุม (Control Segment)

ระบบควบคุมการปฏิบัติการ (Operational Control System - OCS) ประกอบด้วย สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station – MCS) ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Falcon ในเมือง โคโลราโดสริงส์ (Colorado Springs) มลรัฐโคโรลาโดของสหรัฐอเมริกา

สถานีติดตามดาวเทียม (Monitor Station - MS) 5 แห่งทำการรังวัดติดตามดาวเทียม ตลอดเวลาโดยตั้งอยู่ที่หมู่เกาะฮาวาย (Hawaii) ในมหาสมุทรแปซิฟิก หมู่เกาะอัสเซนชัน (Ascension) มหาสมุทรแอตแลนติก หมู่เกาะดิเอโกการ์เซีย (Diego Garcia) มหาสมุทรอินเดีย หมู่เกาะควาจาเลียน (Kwajalein) ประเทศฟิลิปปินส์ เมืองโคโลราโดสปริงส์ สหรัฐอเมริกา

สถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Antenna – GA) 3 สถานีตั้งอยู่ที่หมู่เกาะ ควาจาเลียน หมู่เกาะดิเอโกการ์เซีย และหมู่เกาะอัสเซนชัน(Leick, 1995)

สถานีภาคพื้นดินที่ควบคุมระบบ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าติดตามดาวเทียม เพื่อทำนายวง โคจรล่วงหน้าได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และส่งสัญญาณข้อมูลวงโคจรจากสถานีสู่ดาวเทียมวันละ 3 ครั้ง แล้วทำการกระจายข้อมูลวงโคจรเหล่านั้น จากดาวเทียมสู่เครื่องรับสัญญาณ GPS การรับ สัญญาณนี้เรียกว่า broadcast ephemeris ซึ่งจะทำให้เครื่องรับสัญญาณ GPS คำนวณตำแหน่งในเวลา จริงได้ สำหรับการสำรวจในทาง geodetic อาจไม่ละเอียดเพียงพอแต่สามารถทำได้ด้วยวิธีที่ เรียกว่า precise ephhemeris ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรภายหลังที่ละเอียดกว่า นอกจาก OCS 5 สถานียังใช้สถานีเครือข่ายอื่น ๆ Cooperative International GPS Network (CIGNET) ซึ่งมี 29 สถานีกระจายทั่วโลกในการติดตาม (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2547) สถานีควบคุมหลักและสถานี ติดตามดาวเทียมแสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 ที่ตั้งสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (Wellenhof, Herbert, Bernhard, & Lichtennegger, 1997)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. ส่วนผู้ใช้ (User Segment)

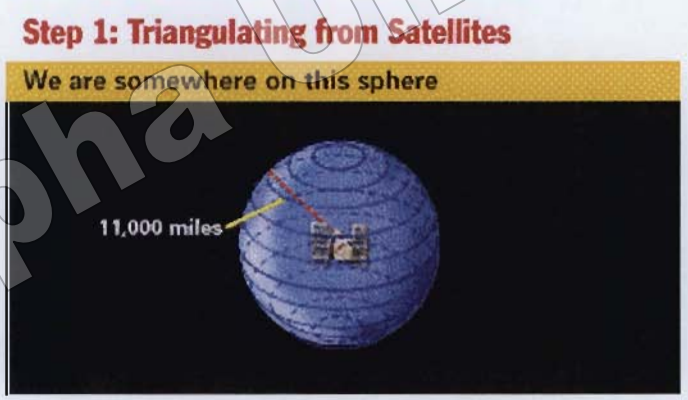
ประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปทั้งทางทหารและพลเรือนแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เครื่องหาค่าพิกัดแบบนำหนและเครื่องหาค่าพิกัดแบบสำรวจ (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2531)

หลักการของระบบ GPS

หลักการทำงานของระบบ GPS แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน (Trimble Navigation Limited, 1996) ได้แก่

1. หลักการของสามเหลี่ยมดาวเทียม

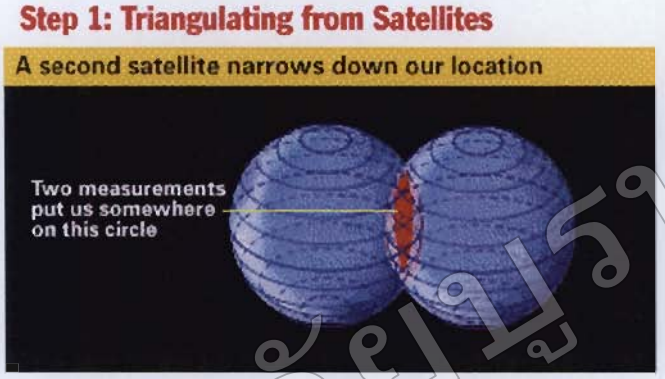
ค่าพิกัดบนพื้นผิวโลกสามารถคำนวณหาได้ถ้าเราทราบระยะทางที่ถูกต้องแม่นยำจากกลุ่มของดาวเทียมในอวกาศไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เพราะดาวเทียมสามารถเป็นตำแหน่งอ้างอิงที่มีความถูกต้องสูงได้ สมมติว่าผู้ใช้ทราบระยะทางจากดาวเทียมดวงหนึ่ง ตำแหน่งของผู้ใช้จะอยู่บนพื้นผิวทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางจากดาวเทียมดวงนั้นดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตำแหน่งที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 1 ดวง (Triangulating from Satellites, 2008)

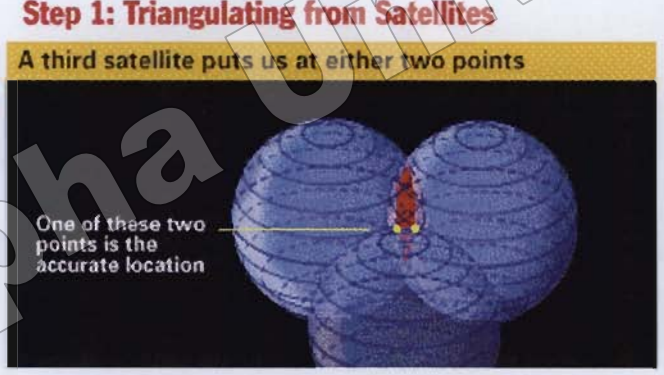
ถ้าหากผู้ใช้ทราบระยะทางจากดาวเทียมดวงที่สอง ตำแหน่งของผู้ใช้จะอยู่ที่ใดที่หนึ่งบนเส้นรอบวงกลมซึ่งเกิดจากการตัดกันของพื้นผิวทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางจากดาวเทียมทั้งสองดวงดังภาพที่ 6

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 6 ตำแหน่งที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 2 ดวง ((Triangulating from Satellites, 2008)

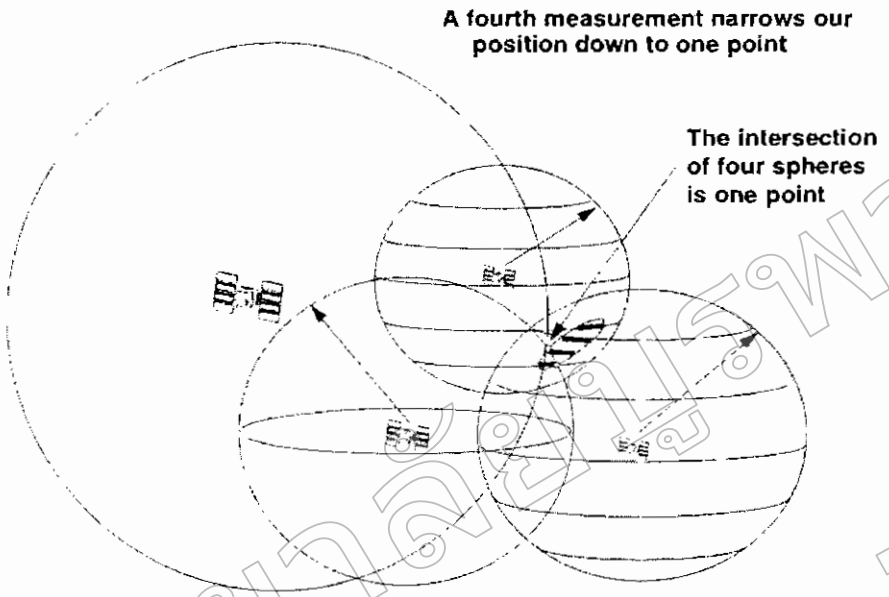
เมื่อผู้ใช้ทำการรังวัดระยะทางจากดาวเทียมดวงที่สามเพิ่มเข้าไปจะทำให้พื้นผิวของทรงกลมทั้งสามนั้นตัดกันที่จุดสองจุดดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 จุดสองจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 3 ดวง ((Triangulating from Satellites, 2008)

โดยทางทฤษฎีการรังวัดระยะจากดาวเทียม 3 ดวงเพียงพอต่อการหาค่าพิกัดบนพื้นผิวโลก เพราะค่าพิกัดที่ได้สองจุดมีจุดหนึ่งที่ไม่สามารถยอมรับได้เนื่องจากเป็นจุดที่ลอยอยู่ในอวกาศหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ดังนั้นผู้ใช้สามารถหาค่าพิกัดได้ด้วยการรังวัดดาวเทียมเพียง 3 ดวง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจำเป็นต้องทำการรังวัดระยะทางจากดาวเทียม 4 ดวง เพื่อที่จะทำการแก้สมการหาค่าตัวแปร X , Y , Z และระยะเวลา ภาพที่ 8 แสดงการรังวัดระยะทางจากดาวเทียม 4 ดวง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 8 การรังวัดระยะทางจากดาวเทียม 4 ดวง (Trible Navigation Limited, 1996)

2. การรังวัดระยะจากดาวเทียม

การรังวัดระยะจากดาวเทียมใช้หลักการเดียวกับการหาระยะในทางฟิสิกส์กล่าวคือ ระยะทางหาได้จากผลคูณของความเร็วกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (Garmin Corporation, 2000)

$$s = vt \qquad (1)$$

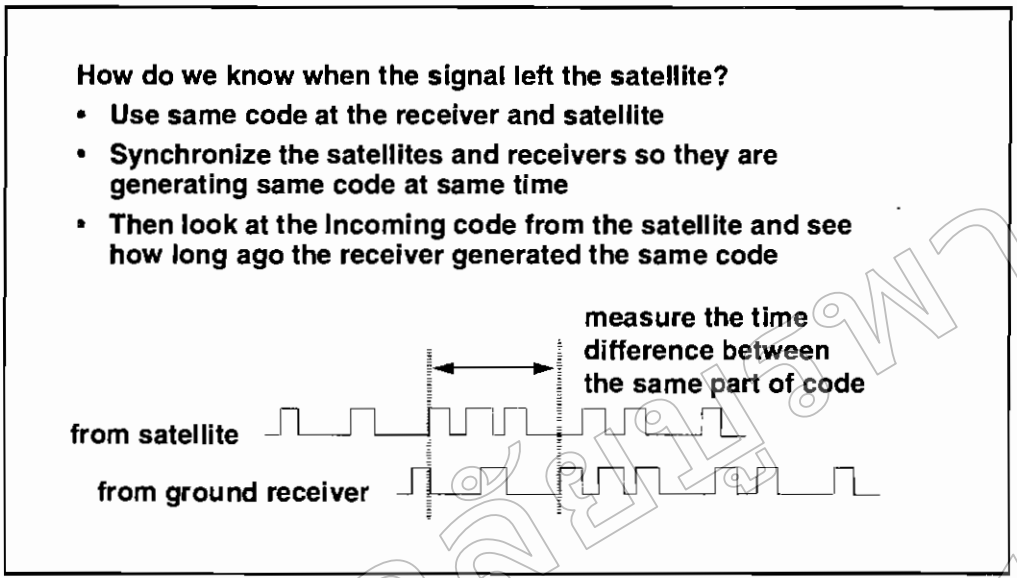
เมื่อ s คือระยะทางจากดาวเทียม

v คือความเร็วแสง (186,000 miles/sec)

t คือเวลาในการเคลื่อนที่

ในการคำนวณเวลานั้นเครื่องรับจำเป็นต้องรู้เวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมาจากดาวเทียม สำหรับการหาเวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมาจากดาวเทียมนั้นเครื่องรับและดาวเทียมจะทำการสร้าง Pseudo Random Code (PRC) ที่เหมือนกันขึ้นมาพร้อม ๆ กันดังภาพที่ 9

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 9 การรังวัดระยะจากดาวเทียม (Trible Navigation Limited, 1996)

เครื่องรับทำการตรวจสอบรหัสที่ได้รับจากดาวเทียมเพื่อเปรียบเทียบว่าต้องใช้เวลานานเท่าใดรหัสที่รับได้จากดาวเทียมจึงจะตรงกับรหัสของเครื่องรับ ระยะเวลาที่ต่างกันนี้คือระยะเวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมใช้ในการเคลื่อนที่มาถึงเครื่องรับ เมื่อนำเวลาไปคูณกับความเร็วแสงจะได้ระยะทางจากดาวเทียม

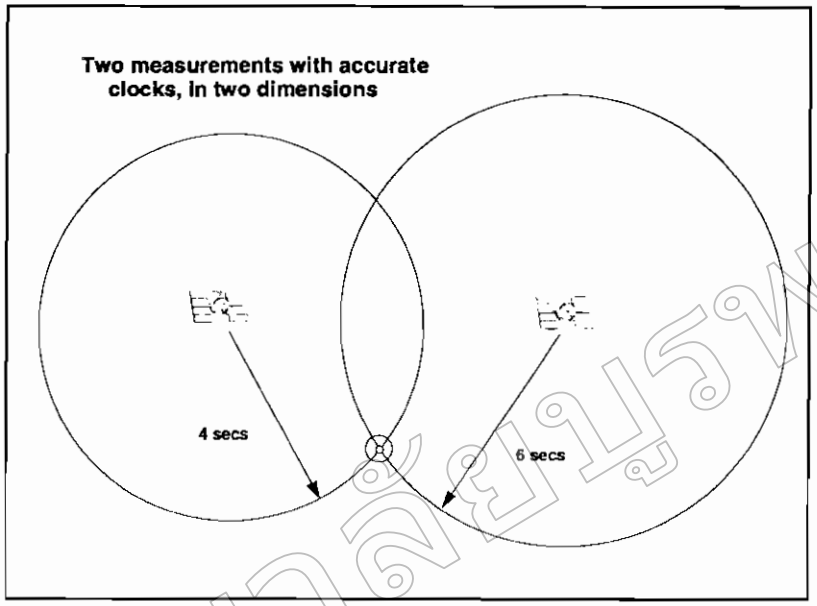
การใช้รหัสเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพราะทำให้ดาวเทียม GPS ทุก ๆ ดวงทำงานพร้อมกันได้ในความถี่เดียวกันเนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงใช้รหัส Pseudo Random Number (PRN) ที่แตกต่างกัน (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546)

3. การรังวัดเวลา

การคำนวณค่าพิกัดได้ถูกต้องแม่นยำนั้นขึ้นอยู่กับการรังวัดเวลาที่มีความถูกต้อง แม้ว่ารหัสจะถูกสร้างขึ้นมาพร้อมๆกันทั้งจากดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ GPS แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนในการรังวัดแฝงอยู่ เนื่องจากนาฬิกาที่ใช้รังวัดเวลาในดาวเทียมนั้นมีความถูกต้องสูงในระดับเศษหนึ่งส่วนร้อยล้านวินาทีแต่มีราคาที่สูงมากจนไม่สามารถนำมาใช้ได้ในเครื่องรับสัญญาณ GPS ทั่วไป ด้วยเหตุนี้เครื่องรับสัญญาณGPSจึงจำเป็นต้องทำการรังวัดดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวงพร้อม ๆ กันเพื่อที่จะแก้สมการหาค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการรังวัดเวลา (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546)

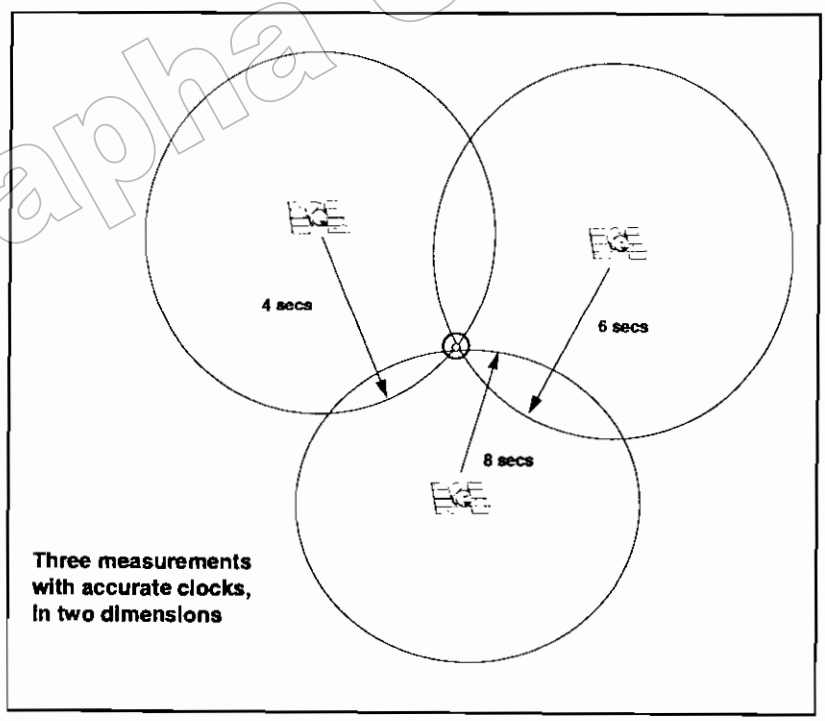
หากดาวเทียมสองดวงทำการรังวัดระยะเวลาได้อย่างถูกต้องจะหาค่าพิกัดได้จากระยะทางระหว่างดาวเทียมสองดวงที่ดัดกันตามภาพที่ 10

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 10 การรังวัดเวลาที่ถูกต้องจากดาวเทียมสองดวง (Trible Navigation Limited, 1996)

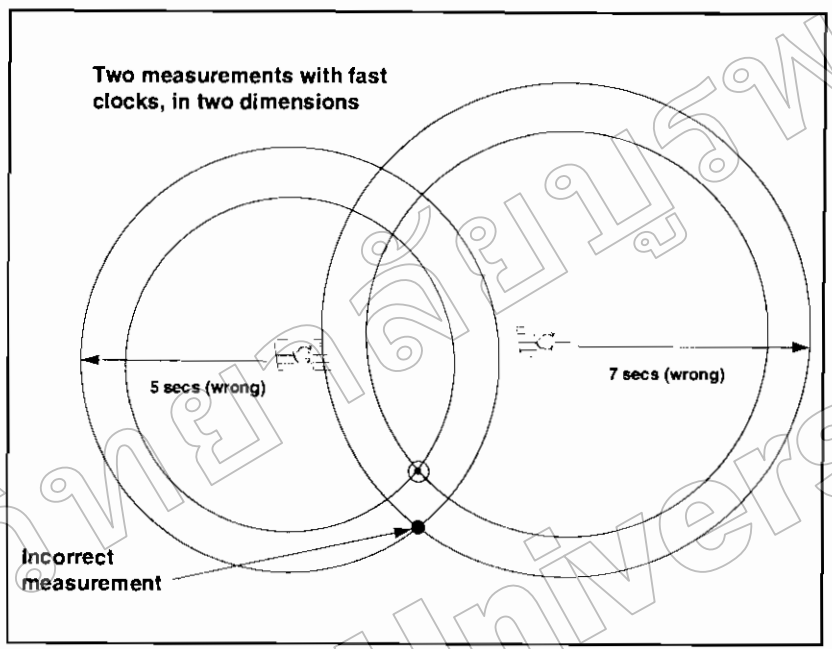
ในกรณีที่เพิ่มดาวเทียมดวงที่สามเข้ามาโดยที่การรังวัดเวลายังคงทำได้อย่างถูงต้อง ระยะทางจากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันที่จุด ๆ เดียวตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การรังวัดเวลาที่ถูกต้องจากดาวเทียมสามดวง (Trimble Navigation Limited, 1996)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อย่างไรก็ตามหากเครื่องรับสัญญาณ GPS มีนาฬิกาที่คลาดเคลื่อนโดยรังวัดเวลาเร็วไป 1วินาที ระยะทางที่รังวัดได้จากดาวเทียมทั้งสองจะตัดกันคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรตามภาพที่ 12

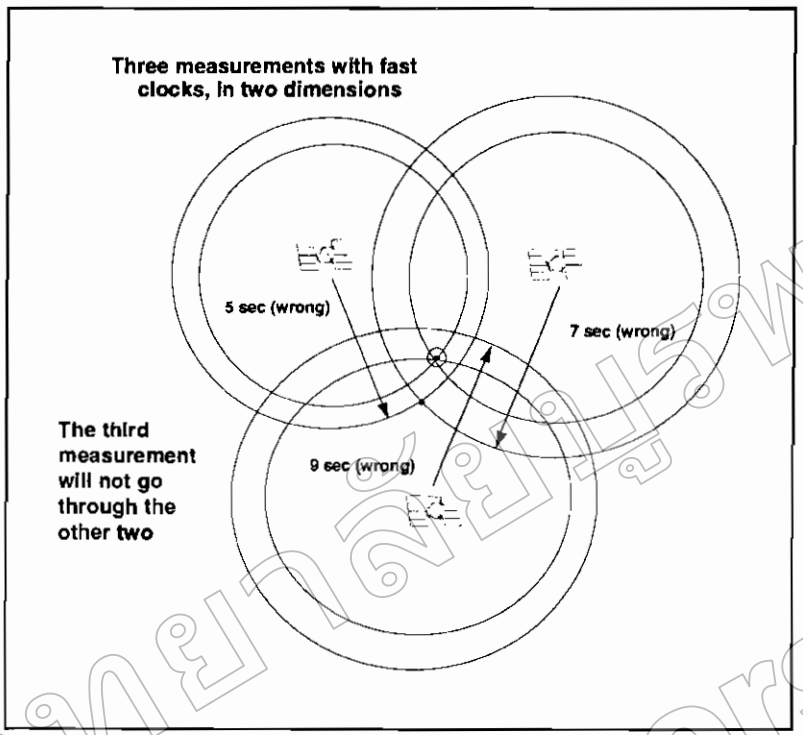


ภาพที่ 12 การรังวัดเวลาที่ผิดพลาดจากดาวเทียมสองดวง (Trimble Navigation Limited, 1996)

เมื่อมีการรังวัดดาวเทียมดวงที่สามเพิ่มเข้ามาโดยที่เครื่องรับสัญญาณGPSยังคงมีความคลาดเคลื่อน 1 วินาที ระยะทางจากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันได้จุดตัดที่มากกว่า 1 จุดทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าพิกัดได้ตามภาพที่ 13

เมื่อเครื่องรับสัญญาณGPSได้รับข้อมูลชุดการรังวัดที่ไม่ตัดกันที่จุด ๆ เดียว ส่วนประมวลผลในเครื่องรับสัญญาณGPSจะทำการคำนวณค่าพิกัดใหม่โดยการเพิ่มหรือลดระยะเวลาที่ทำการรังวัดได้จนกว่าระยะทางที่ได้จากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันที่จุดเดียว หากต้องการรังวัดค่าพิกัดในระบบพิกัดฉากสามมิติจำเป็นต้องมีการรังวัดดาวเทียมทั้งสิ้นสี่ดวงเพื่อหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนทางเวลา (Trimble Navigation Limited, 1996)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 13 การรังวัดเวลาที่ผิดพลาดจากดาวเทียมสามดวง (Trimble Navigation Limited, 1996)

4. วงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม

มีดาวเทียม NAVSTAR จำนวน 24 ดวง โคจรอยู่รอบโลกที่ความสูง 12,600 นูติคอลไมล์ (20,200 km) ดังภาพที่14 ที่ความสูงดังกล่าวอิทธิพลของบรรยากาศจึงหมดไปทำให้วงโคจรของดาวเทียมมีความคงที่ โดยดาวเทียมทุกดวงจะถูกติดตามอย่างต่อเนื่องโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา Department of Defense (DoD)

วงโคจรขั้นต้นของดาวเทียมเองค่อนข้างถูกต้องแน่นอน สำหรับเครื่องหาค่าพิกัดGPS บนภาคพื้นจะมีปฏิทินดาวเทียม (Almanac) ซึ่งถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ เครื่องหาค่าพิกัดGPSจึงสามารถคำนวณได้ว่าดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ ณ ตำแหน่งใดในท้องฟ้าในแต่ละขณะเวลา แต่เพื่อความสมบูรณ์แบบ กระทรวงกลาโหมสหรัฐจะทำการรังวัดติดตามกลุ่มดาวเทียม GPS อย่างถาวร โดยใช้เรดาร์ที่มีความถูกต้องสูงทำการตรวจสอบความสูง ตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียมแต่ละดวงที่ถูกต้องแน่นอน ค่าความคลาดเคลื่อนที่ทำการตรวจสอบเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนของวงโคจร (Ephemeris Errors) ซึ่งจะส่งผลต่อวงโคจรของดาวเทียม (Orbit or Ephemeris) ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นผลมาจากแรงดึงดูดจากดวงจันทร์กับดวงอาทิตย์ และการแพร่ของคลื่นรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อดาวเทียม โดยทั่วไปแล้วความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีขนาดน้อยมาก (Trimble Navigation Limited, 1996)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 14 วงโคจรดาวเทียมระบบGPS (รู้จักกับ GPSThai2002, 2551)

เนื่องจากกระทรวงกลาโหมสหรัฐได้ทำการรังวัดหาตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียมและทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปให้ดาวเทียม ดาวเทียมจะทำการรวบรวมและส่งสัญญาณข้อมูลค่าดัวแก้ใหม่นี้มาพร้อมกับสัญญาณเวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมายังโลก ดังนั้นสัญญาณดาวเทียม GPS นอกจากจะมี PRC เพื่อใช้สำหรับการกำหนดระบบเวลาแล้ว ยังมีข่าวสารการนำร่องพร้อมข้อมูลวงโคจรด้วย การกำหนดระบบเวลาที่สมบูรณ์และตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียมทำให้ผู้ใช้สามารถทำการคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องสูงได้ (Witchayangkoon, 2000)

5. ความคลาดเคลื่อนและการขจัดความคลาดเคลื่อน

การคำนวณค่าพิกัดในระบบ GPS เป็นการคำนวณโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าสัญญาณดาวเทียม GPS เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลาโดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ในความเป็นจริงสัญญาณจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศเท่านั้น เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงชั้น ionosphere ซึ่งอยู่สูง 80 – 120 ไมล์เหนือพื้นโลกและชั้น troposphere ชั้นบรรยากาศจะทำให้สัญญาณเคลื่อนที่ช้าลงซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่าพิกัด สำหรับความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุนี้สามารถแก้ไขโดยการเปรียบเทียบสัดส่วนของสัญญาณความถี่สองความถี่สัมพันธ์กับสัดส่วนของความคลาดเคลื่อน เพื่อแก้ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เนื่องจากสัญญาณทั้งสองความถี่นั้นมีความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน ซึ่งการรังวัดสัญญาณสองความถี่นี้จะได้ผลเฉพาะเครื่องหาค่าพิกัดGPS แบบสองความถี่ (Trimble Navigation Limited, 2002)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 14 วงโคจรดาวเทียมระบบGPS (รู้จักกับ GPSThai2002, 2551)

เนื่องจากกระทรวงกลาโหมสหรัฐได้ทำการรังวัดหาตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียมและทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปให้ดาวเทียม ดาวเทียมจะทำการรวบรวมและส่งสัญญาณข้อมูลค่าตัวแก้ใหม่นี้มาพร้อมกับสัญญาณเวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมายังโลก ดังนั้นสัญญาณดาวเทียม GPS นอกจากจะมี PRC เพื่อใช้สำหรับการกำหนดระบบเวลาแล้ว ยังมีข่าวสารการนำร่องพร้อมข้อมูลวงโคจรด้วย การกำหนดระบบเวลาที่สมบูรณ์และตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียมทำให้ผู้ใช้สามารถทำการคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องสูงได้ (Witchayangkoon, 2000)

5. ความคลาดเคลื่อนและการขจัดความคลาดเคลื่อน

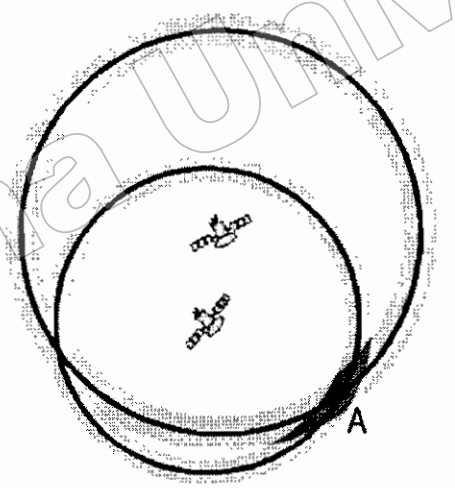
การคำนวณค่าพิกัดในระบบ GPS เป็นการคำนวณโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าสัญญาณดาวเทียม GPS เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลาโดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง ในความเป็นจริงสัญญาณจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศเท่านั้น เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงชั้น ionosphere ซึ่งอยู่สูง 80 – 120 ไมล์เหนือพื้นโลกและชั้น troposphere ชั้นบรรยากาศจะทำให้สัญญาณเคลื่อนที่ช้าลงซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่าพิกัด สำหรับความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุนี้สามารถแก้ไขโดยการเปรียบเทียบสัดส่วนของสัญญาณความถี่สองความถี่สัมพันธ์กับสัดส่วนของความคลาดเคลื่อน เพื่อแก้ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เนื่องจากสัญญาณทั้งสองความถี่นั้นมีความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากัน ซึ่งการรังวัดสัญญาณสองความถี่นี้จะได้ผลเฉพาะเครื่องหาค่าพิกัดGPS แบบสองความถี่ (Trimble Navigation Limited, 2002)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คลื่นหลายวิถี (Multipath) เกิดจากการที่คลื่นสัญญาณสะท้อนกับวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกก่อนที่จะเดินทางถึงจานรับสัญญาณของเครื่องรับสัญญาณ GPS ความคลาดเคลื่อนนี้สามารถลดลงได้ด้วยการออกแบบจานรับสัญญาณที่ดี (Sources of Eorrers in GPS, 2008)

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาและวงโคจรของดาวเทียม ทั้งสองอย่างกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาได้ทำการตรวจสอบและปรับแก้อยู่ตลอดเวลาผ่านทางสถานีติดตาม สำหรับเครื่องรับสัญญาณ GPS สามารถแก้ความคลาดเคลื่อนได้ด้วยการรังวัดดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงขึ้นไปหรือทำการประมวลผลค่าพิกัดใหม่โดยใช้วงโคจรดาวเทียมที่มีการปรับแก้แล้ว (Garmin Corporation, 2000)

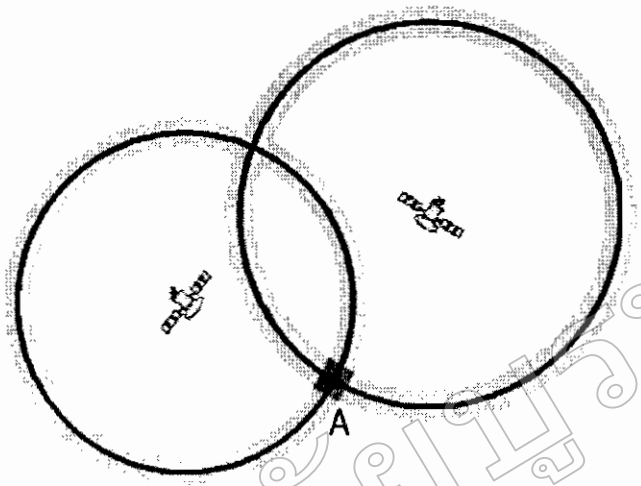
ความคลาดเคลื่อนของระบบ GPS เนื่องจากเรขาคณิตของวงโคจรดาวเทียม Geometric Dilution of Precision (GDOP) เกิดจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมGPSที่มีวงโคจรใกล้กันมาคำนวณหาระยะทางและหาจุดตัด ซึ่งจะทำให้เกิดรอยตัดที่ใหญ่ นั่นคือพื้นที่ความเป็นไปได้ของค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง (Wellenhof, Herbert, Bernhard, & Lichtennegger, 1997) ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 รอยตัดที่เกิดจากการรังวัดที่มีเรขาคณิตไม่ดี (Sources of Eorrers in GPS, 2008)

ในทางกลับกันถ้านำสัญญาณดาวเทียม GPS ที่มีวงโคจรเกือบตั้งฉากกันมาคำนวณรอยตัดของระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัด GPS จะปรากฏรอยตัดเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก นั่นคือค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความละเอียดถูกต้องสูง ดังภาพที่ 16

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 16 รอยตัดที่เกิดจากการรังวัดที่มีเรขาคณิตดี (Sources of Eorrers in GPS, 2008)

เทคนิคการเลือกปฏิบัติ (Selective Avialability)

เทคนิคการเลือกปฏิบัติ Sclcctive Avialability (S/A) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดความถูกต้องของค่าพิกัด GPS ที่ได้จากการรังวัดถูกควบคุมโดย Department of Defend (DOD) ประเทศสหรัฐอเมริกา วิธีที่ใช้ในการลดความถูกต้องมี 2 วิธีคือ

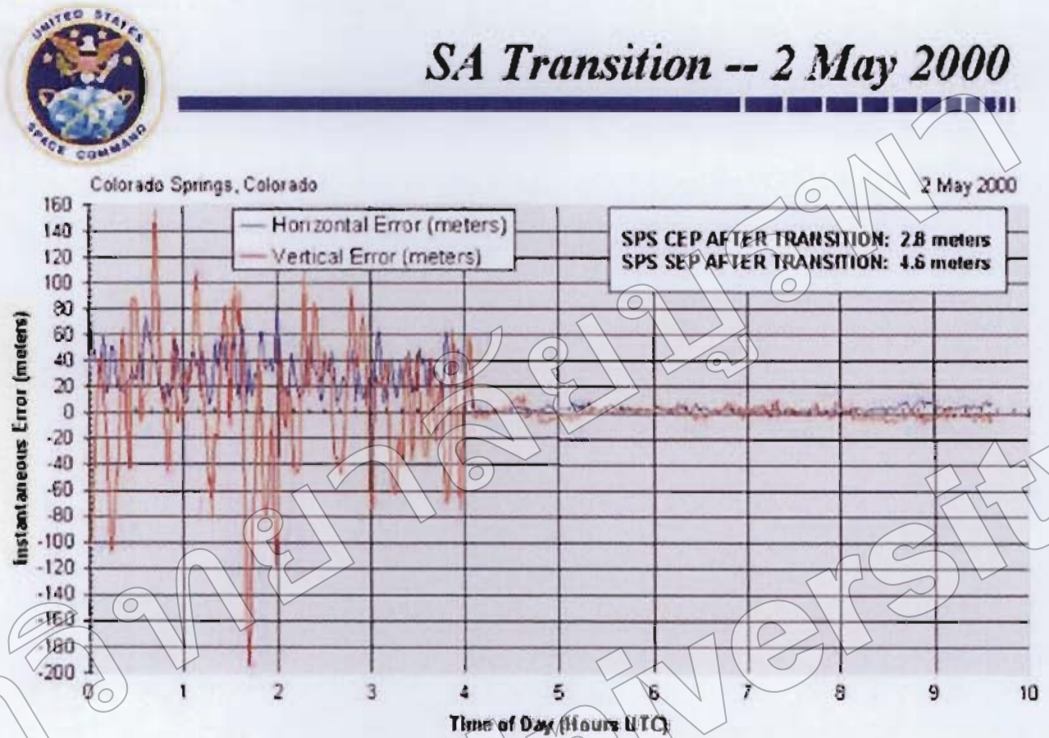
1. การส่งค่าความคลาดเคลื่อนผสมไปกับข้อมูลการนำหนซึ่งส่งออกมาโดยดาวเทียม GPS วิธีการนี้เรียกว่า epsilon

2. การเปลี่ยนแปลงเวลาของนาฬิกาดาวเทียมวิธีการนี้เรียกว่า clock dithering

เทคนิค S/A เป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าพิกัดมีความถูกต้องลดลงเป็นอย่างมาก หากไม่มีการใช้เทคนิค S/A ในการรังวัดค่าพิกัดด้วยเครื่อง GPS ที่ใช้การรังวัดสัญญาณ C/A code เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้เทคนิค DGPS ปกติจะให้ความคลาดเคลื่อนที่ระดับประมาณ 12 เมตร แต่เมื่อมีการใช้เทคนิค S/A ความคลาดเคลื่อนจะอยู่ที่ประมาณ 40 เมตรหรือสูงกว่า ดังภาพที่ 17

แม้ว่าเทคนิค S/A จะถูกยกเลิกไปในเดือน พฤษภาคม ค.ศ. 2000 (สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์, 2550) แต่ไม่มีหลักประกันใดรับรองได้ว่ารัฐบาลสหรัฐจะไม่นำเทคนิคนี้มาใช้อีกหากเกิดสภาวะสงครามเพราะฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในเทคนิค S/A ยังคงมีอยู่ในดาวเทียม GPS BLOCKII ที่ทำงานอยู่ในอวกาศ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 17 ความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดก่อนและหลังการยกเลิกเทคนิค S/A (สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์, 2550)

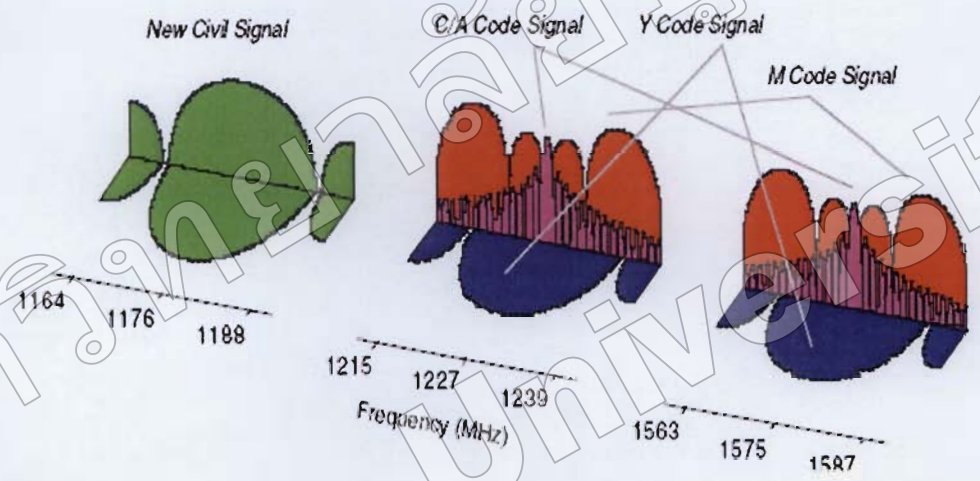
อนาคตของระบบ GPS

1. สัญญาณ M-Code Signal หรือที่มีชื่อเต็มว่า Military Code Signal เป็นสัญญาณ GPS ใหม่ล่าสุดที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานทางทหารเท่านั้นเป็นคลื่นขาวที่ปรุงมากับคลื่นพาห์ L1 และ L2 มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบการรังวัดค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงมีความปลอดภัยจากการรบกวนสัญญาณและมีราคาถูกลงเมื่อเทียบกับการรังวัดคลื่น C/A code ที่ใช้ในทางพลเรือน M-code เป็นนวัตกรรมใหม่ในการออกแบบประกอบด้วยการโมดูเลตคลื่น Data Message และโครงสร้างความปลอดภัยแบบใหม่ ดังภาพที่ 18 สำหรับสัญญาณ M-code เริ่มใช้ในดาวเทียม Block IIR-M (Barker, 2008)

การรังวัดสัญญาณ M-code ต้องใช้เครื่องรับประเภท P(Y)-code, M-code, C/A-code Reciever (YMCA Reciever) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของเวลาและความถี่ เครื่องรับจะทำการสร้างสำเนาคลื่น M-code จาก waveform ที่รับได้ เมื่อสำเนาคลื่นที่สร้างขึ้นตรงกับคลื่น M-code ที่ส่งมาจากดาวเทียมการซิงโครไนซ์จะเริ่มต้นขึ้นเครื่องรับจะทำการ tracking สัญญาณเพื่อทำการคำนวณค่าพิกัดและรับข้อมูล data message สำหรับสัญญาณ M-code ใน

ปัจจุบันยังอยู่ในช่วงทดสอบระบบคาดว่าระบบจะสมบูรณ์อย่างเร็วสุดประมาณปี ค.ศ. 2012 (Betz, Fite, & Capozza, 2004)

2. ดาวเทียม GPS Block IIR จำนวน 8 ดวงจะถูกปรับปรุงเพื่อเพิ่มรหัส L2C (a second civil code)สำหรับการใช้งานของพลเรือนเพิ่มเติมจาก C/A code โดยจะปรุงมากับคลื่นพาห์ L2 (Defense Science Board, 2005)



ภาพที่ 18 โครงสร้างสัญญาณ GPS ในอนาคต (Barker, 2008)

3. สัญญาณนำร่องอากาศยาน L5 or L3 (a third civil singnal) L5 เป็นคลื่นพาห์ที่มีความถี่ 1175.42 MHz สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการนำร่องอากาศยานของพลเรือน โดยจะมีการใช้งานในดาวเทียม Block IIF ที่ส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี ค.ศ. 2007 (Defense Science Board, 2005)

เทคนิคการรังวัดของระบบ GPS

เทคนิคการรังวัดของระบบ GPS แบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ ๆ (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2547) คือ

1. การรังวัดแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning) เป็นการรังวัดโดยใช้เครื่องหาค่าพิกัด GPS เพียงเครื่องเดียวทำการรังวัดคลื่นรหัส C/A Code, P code หรือคลื่นพาห์ของดาวเทียมเป็นจำนวนอย่างน้อย 4 ดวงพร้อมกัน สามารถอ่านค่าพิกัดจากเครื่องหาค่าพิกัดGPSได้ทันทีแต่มีความละเอียดถูกต้องต่ำ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. การรังวัดแบบสัมพันธ์ (Relative Positioning) เป็นการรังวัดโดยใช้เครื่องหาค่าพิกัด GPS อย่างน้อยสองเครื่องขึ้นไปทำการรังวัดคลื่นรหัส C/A code P code หรือคลื่นพาห์ของดาวเทียมเป็นจำนวนอย่างน้อย 4 ดวงพร้อมกัน โดยเครื่องหนึ่งทำการรังวัดอยู่บนตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัดแล้วทำหน้าที่เป็นสถานีอ้างอิง (Base Station) ส่วนเครื่องที่เหลือทำการรังวัด ณ พิกัดที่ต้องการทราบค่า(Rover Station) โดยเครื่องทั้งหมดจะต้องรังวัดไปที่ดาวเทียมกลุ่มเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกัน วิธีการรังวัดแบบนี้จะช่วยขจัดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบออกไปได้ทำให้ค่าพิกัดมีความถูกต้องสูง

ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับระบบ DGPS

ทฤษฎีที่กล่าวถึงระบบGPSแบบปรับแก้ผลต่าง(DGPS) มีอยู่อย่างหลากหลายอาทิเช่น Landau, Vollath & Chen (2002) ได้กล่าวไว้ว่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่รังวัดได้ในระบบ DGPS โดยใช้เครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมGPSที่ถอดรหัส C/A Code ได้เพียงอย่างเดียวจะมีความถูกต้องอยู่ในระดับต่ำกว่า 1 เมตรจนถึง 20-30 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของเครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมGPSที่ใช้

Hall (1996) ระบบ DGPS มีรัศมีการทำงานอยู่ในระยะ 300 km โดยค่าพิกัดที่รังวัดได้จะมีความถูกต้องในระดับที่ดีกว่า 3 เมตร โครงสร้างของระบบ DGPS แสดงในภาพที่ 19 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สถานีอ้างอิง (Reference Station หรือ Base station)เป็นที่ตั้งของเครื่องหาค่าพิกัด GPSบนตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูง เพื่อทำหน้าที่ในการรับสัญญาณดาวเทียม คำนวณค่าพิกัดและค่าแก้

2. สถานีควบคุมและติดตามระบบ (Integrity Monitor) เป็นหน่วยตรวจสอบที่อยู่ร่วมกับสถานีอ้างอิงเพื่อคอยตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของสถานีอ้างอิงว่ามีความผิดผลาดหรือไม่

3. สถานีการกระจายสัญญาณ (Broadcast Site) เป็นหน่วยที่ทำการกระจายค่าแก้ผ่านทางช่องทางการสื่อสารต่าง ๆ เช่น คลื่นโทรศัพท์ คลื่นวิทยุ และอินเตอร์เนท เพื่อส่งค่าแก้ให้กับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่

4. สถานีควบคุมส่วนกลาง (Control Station) มีหน้าที่ติดตามการทำงานของสถานีอ้างอิงต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบคอยตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้น ทำการแจ้งเตือนและประสานการทำงานระหว่างสถานีอ้างอิงในเครือข่าย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แล้วทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณเวลาที่รับได้จริงจะทำให้ได้ค่าความต่างซึ่งก็คือค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อน จากนั้นเครื่องหาค่าพิกัด GPS หลักจะทำการส่งค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ไปให้เครื่องหาค่าพิกัด GPS อีกเครื่องหนึ่งใช้เป็นค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณเวลาที่รับได้จากดาวเทียมเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดต่อไป สำหรับการรังวัดในระบบ DGPS สามารถขจัดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบได้เป็นอย่างดีดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด GPS ที่เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ (Trimble Navigation Limited, 2002)

Typical Error in Meters (per satellites)	Standard GPS	Differential GPS
Satellite Clocks	1.5	0
Orbit Errors	2.5	0
Ionosphere	5.0	0.4
Troposphere	0.5	0.2
Receiver Noise	0.3	0.3
Multipath	0.6	0.6

เนื่องจากอัตราส่วนโค้งของระยะห่างระหว่างดาวเทียมของระบบ GPS ซึ่งห่างกันมากในอวกาศเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างเครื่องหาค่าพิกัด GPS สองเครื่องขณะเคลื่อนที่เพื่อปฏิบัติงานแบบ DGPS บนโลกจะไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นถ้าเครื่องหาค่าพิกัด GPS ทำงานอยู่ใกล้กันเป็นระยะประมาณ 200-300 กิโลเมตร สัญญาณที่ส่งมาถึงเครื่องหาค่าพิกัด GPS ทั้งสองจะถือเสมือนหนึ่งว่าคลื่นได้เดินทางผ่านสภาพบรรยากาศเพียงส่วนเล็กและถือว่ามีสภาพบรรยากาศเหมือนกัน ดังนั้นจึงถือเสมือนหนึ่งว่ามีความคลาดเคลื่อนเหมือนกัน (หัสฎี วงศ์อิศเรศ, 2546)

เนื่องจากเครื่องหาค่าพิกัด GPS หลักไม่สามารถรู้ได้ว่าดาวเทียมที่อยู่บนท้องฟ้าดวงใดจะถูกทำการรังวัดโดยเครื่องหาค่าพิกัด GPS อีกเครื่องหนึ่งเพื่อทำการคำนวณหาค่าพิกัด ดังนั้นเครื่องหาค่าพิกัด GPS หลักจะทำการคำนวณหาค่าตัวแก้ของดาวเทียมทุกดวงบนท้องฟ้าแล้วทำการเข้ารหัสข้อมูลเหล่านั้นไว้ในรูปแบบมาตรฐานเพื่อส่งสัญญาณรหัสไปยังเครื่องหาค่าพิกัด GPS เครื่องอื่น (Australian Maritime Safety Authority, 2007)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การส่งค่าแก้ในระบบ DGPS นั้นจำเป็นจะต้องทำการเข้ารหัสเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณผ่านคลื่นโทรศัพท์ อินเตอร์เนท หรือคลื่นวิทยุ การส่งค่าแก้นี้นิยมส่งในฟอร์แมทของ RTCM SC-104 ซึ่งได้มาจาก Radio Technical Commission for Maritime Service Spacial Committee Paper No. 104 โดยในเอกสารนี้ได้แนะนำวิธีการเข้ารหัสค่าแก้ในระบบ DGPS เพื่อใช้ในเครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ที่เป็นลูกข่าย เช่นเดียวกับคลื่นรหัส ค่าแก้จะต้องถูกโมดูเลตด้วยวิธี Minimum Shift Keying (MSK) ก่อนจะส่งออกไปกลับคลื่นวิทยุความถี่ย่านกลาง Medium Frequency (MF) ในช่วงความถี่ 285 - 315 kHz (Wolfe, Judy, Kritz, Chop, & Parsons, 2003) หรือทางอินเตอร์เนทในรูปแบบ Networked Transport of RTCM Via Internet Protocol (NTRIP) (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2550)

ในปัจจุบันหลายประเทศในโลกได้มีการใช้ระบบ DGPS อย่างแพร่หลายอาทิเช่น ระบบ CDGPS (The Canada-wide Differential GPS) ของประเทศแคนาดาที่ได้เริ่มใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ.2002 โดยมีพื้นที่ครอบคลุมประเทศแคนาดาทั้งหมดรวมถึงบางส่วนของอเมริกาเหนือ CDGPS เป็นระบบที่ออกแบบมาให้มีความเหมาะสมกับผู้ใช้เครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ที่ใช้งานอยู่ในระบบ Canadian Spatial Reference System (CSRS) ระบบ CDGPS เป็นระบบที่พัฒนามาจาก Coast Guard's marine beacon DGPS service เช่นเดียวกับระบบ Wide Area Augmentation Service (WAAS) ของประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับระบบ CDGPS นั้นการส่งค่าแก้จะทำการส่งผ่านดาวเทียม MSAT – 1 สำหรับการให้บริการในระดับกว้างและส่งผ่านคลื่นวิทยุในการให้บริการส่วนท้องถิ่น (Kassam et al., 2002)

สำหรับประเทศสหรัฐอเมริการะบบ DGPS ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 ระบบคือ WAAS และ Nationwide DGPS

1. ระบบ WAAS เดิมเป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการนำร่องของอากาศยาน (Garmin, n.d.) หน่วยงานที่ทำการพัฒนาระบบได้แก่ The Federal Aviation Administration (FAA) และ the Department of Transportation (DOT) WAAS มีสถานีอ้างอิงจำนวน 25 สถานีทั่วสหรัฐอเมริกาคอยทำการติดตามดาวเทียม GPS และคำนวณค่าแก้เกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนวงโคจร การหน่วงสัญญาณเนื่องจากชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการรังวัดเวลา แล้วทำการส่งค่าแก้ผ่านดาวเทียมจำนวน 2 ดวงที่มีตำแหน่งคงที่อยู่เหนือเส้นอีเควเดอร์ ระบบ WAAS นี้มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมบริเวณ 95 % ของทวีปอเมริกา สำหรับการหาค่าพิกัดด้วยระบบ WAAS ทาง International Civil Aviation Organization (ICAO) ได้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าระบบ Satellite Based Augmentation System (SBAS) นอกจากสหรัฐอเมริกยังมีประเทศอื่น ๆ ที่ได้พัฒนาระบบการหาค่าพิกัดเช่นเดียวกับระบบ WAAS ขึ้นมาใช้ภายใต้ชื่อที่แตกต่างกันเช่น ระบบ

European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)ของยุโรป ระบบ Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS)ของประเทศญี่ปุ่น ความถูกต้องของค่าพิกัดในระบบ WAAS นี้อยู่ที่ระดับดีกว่า 3 เมตร (Wikipedia, 2008)

2. ระบบ Nationwide DGPS เป็นระบบที่ทำการพัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบ DGPS เดิมของ United States Coast Guard (USCG) โดยมีจุดมุ่งหมายให้มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมพื้นที่ทั่วสหรัฐอเมริกา โดยในปี ค.ศ.2003 มีสถานีอ้างอิงจำนวน 80 สถานีที่ทำการรังวัดค่าพิกัดและส่งค่าแก้ผ่านทางวิทยุคลื่นสั้น(Beacon)ให้แก่ผู้ใช้ในรูปแบบ RTCM หากระบบได้รับการพัฒนาจนสมบูรณ์จะมีสถานีอ้างอิงทั้งสิ้นจำนวน 120 แห่งและสามารถให้บริการได้ครอบคลุมพื้นที่ 99.99% ทั่วประเทศอเมริกา โดยความถูกต้องของค่าพิกัดจะอยู่ในช่วง 1- 3 เมตร (Wikipedia, 2008)

ระบบ DGPS ในประเทศไทย

กรมโยธาธิการและผังเมืองเนื่องเป็นหน่วยงานหลักที่ได้ให้บริการระบบ DGPS แก่ผู้ใช้ทั่วไปในประเทศไทยโดยมีวัตถุประสงค์และรูปแบบการให้บริการดังนี้ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2550)

1. หลักการและเหตุผล

กรมโยธาธิการและผังเมือง ได้ให้บริการข้อมูลสถานีโครงข่ายหลัก (Base Station) เพื่อการกำหนดตำแหน่งแบบ DGPS ที่มีความถูกต้อง 1-3 เมตร โดยมีสถานีโครงข่ายหลักจำนวน 11 สถานี ซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร (กรมโยธาธิการและผังเมือง ถนนพระราม 9) เชียงใหม่ อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ นครราชสีมา อุดรธานี อำนาจเจริญ ชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี และสงขลา ดังภาพที่ 20

ในแผนแม่บท ICT (พ.ศ. 2547-2549) กรมโยธาธิการและผังเมืองได้กำหนดแผนการปรับปรุงประสิทธิภาพการสำรวจข้อมูลกายภาพสารสนเทศ GIS เพื่อให้สามารถบริการการหาค่าพิกัดตำแหน่งแบบ DGPS ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่ประเทศไทยตลอดเวลา 24 ชั่วโมงในระบบ Web Based ซึ่งสามารถให้บริการข้อมูล GPS ประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ และการให้บริการหาค่าตำแหน่งแบบ RTK (Real-time Kinematics) โดยระบบวิทยุและโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ รวมทั้งสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพร้อมข้อมูล GPS สำหรับนำมาศึกษาวิจัยงานด้านการสำรวจแผนที่ เช่น การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก การเปลี่ยนแปลงทางตำแหน่งอันสืบเนื่องมาจากผลกระทบแผ่นดินไหวและซึนามิ เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นการสอดคล้องกับร่างแผนแม่บทภูมิสารสนเทศแห่งชาติในยุทธศาสตร์การพัฒนาสถานีฐานเพื่อ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2 เพื่อให้บริการข้อมูล Base Station แก่หน่วยราชการอื่น รวมทั้งภาคเอกชน

2.3 เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาและประยุกต์ใช้เครื่องวัดพิกัดด้วยดาวเทียม GPSชนิดเคลื่อนที่ ในการปรับปรุงแผนที่ การหาแนวเขตการปกครอง การหาค่าพิกัดทางราบของ Ground Control Point เป็นต้น

3. รูปแบบการให้บริการของสถานีฐาน

3.1 บริการข้อมูล DGPS ผ่านทาง Telephone Modem

3.2 บริการข้อมูล DGPS ผ่านทาง Radio Modem โดยใช้ความถี่ของสัญญาณวิทยุที่ 458.15 MHz

3.3 บริการข้อมูล DGPS ผ่านทาง NTRIP (Networked Transport of RTCM Via Internet Protocol) ซึ่งผู้ใช้จะต้องขออนุญาตการใช้งานผ่านทางส่วนสำรวจ สำนักวิศวกรรมการผังเมือง กรมโยธิการและผังเมือง โดยผู้ใช้จะได้รับ User name และ Password ในการใช้งาน ผู้ใช้งานจะต้องมีเครื่องมือที่รองรับการทำงานพร้อมทั้งระบบการสื่อสารที่รองรับการส่งข้อมูลแบบ GPRS (General Packet Radio Service) ซึ่งในการวิจัยจะใช้บริการรูปแบบนี้ในการรับค่าแก้ เนื่องจากมีความประหยัดและมีพื้นที่การให้บริการครอบคลุมมากกว่าบริการรูปแบบอื่น ๆ

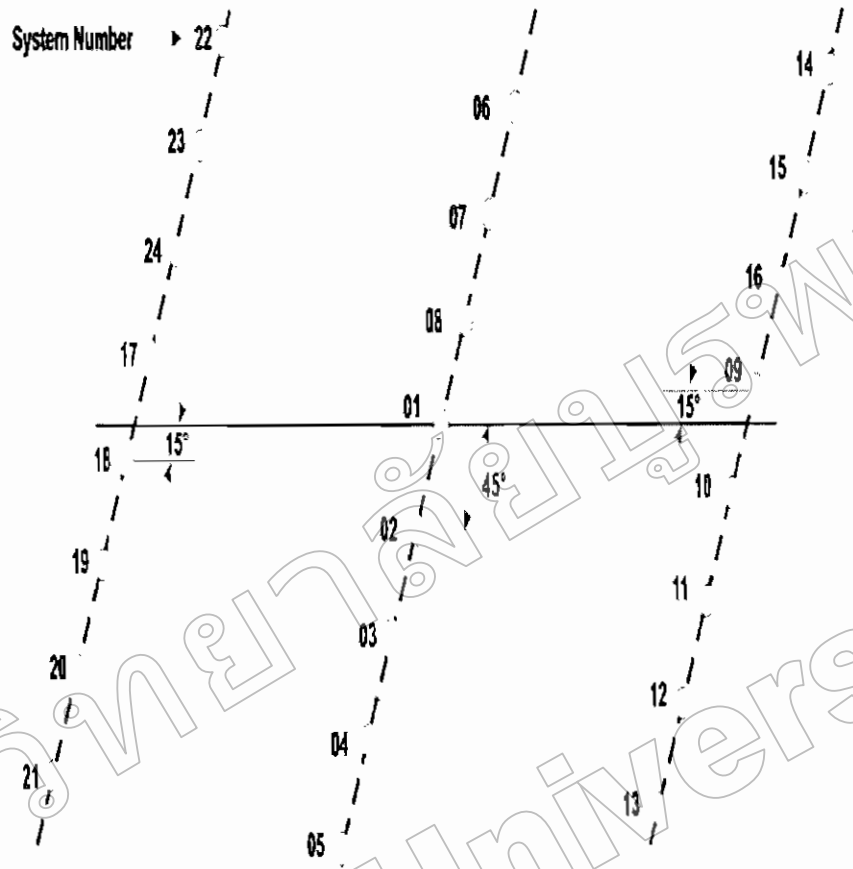
3.4 นำข้อมูลมาประมวลผลภายหลัง (Post Processing) ผู้ใช้นำข้อมูลจากสถานีฐานมาประมวลผลร่วมกับข้อมูลจากเครื่องรับของตนเอง

3.5 ประมวลผลผ่านเครือข่าย (Web-based Service) ผู้ใช้ส่งข้อมูลการรับสัญญาณผ่านเครือข่าย ผู้ให้บริการเลือกสถานีฐานที่เหมาะสมที่สุดมาประมวลผล เมื่อได้ค่าพิกัดแล้วจึงส่งผลลัพธ์กลับไปให้ผู้ใช้

ระบบนำร่องดาวเทียม GLONASS (GLObal NAvigation Satellite System)

GLONASS เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นโดยประเทศรัสเซียเพื่อแข่งขันกับระบบ NAVSTAR ของสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1982 สหภาพโซเวียตในขณะนั้นได้ทำการทดลองโครงการดาวเทียมนำร่องวงโคจรสูง high-flying navigation satellites โดยการส่งดาวเทียม Cosmos-I413, Cosmos-1414 และ Cosmos-1415 ขึ้นสู่วงโคจรเพื่อเป็นการเริ่มต้นระบบ GLONASS ดาวเทียมดวงแรกปฏิบัติการได้ในเดือนธันวาคม ค.ศ. 1983 โครงการยังคงเดินหน้าต่อไปภายหลังจากที่สหภาพโซเวียตล่มสลาย GLONASS สามารถปฏิบัติงานได้เต็มระบบในเดือนธันวาคม ค.ศ. 1985 แต่หลังจากนั้นด้วยภาวะเศรษฐกิจที่ไม่ดีหลังการล่มสลายของสหภาพโซเวียตทำให้รัสเซียเหลือดาวเทียม GLONASS เพียง 8 ดวงที่สามารถปฏิบัติงานได้ในปี ค.ศ. 2002 เมื่อเศรษฐกิจฟื้นตัวได้มีการส่งดาวเทียม GLONASS ขึ้นสู่วงโคจรเพิ่มเติมอีกจำนวน 11 ดวง ทำให้เมื่อถึงปี ค.ศ. 2005

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 22 การวางตัวของดาวเทียม GLONASS ในแต่ละระนาบ (Revnivykh, 2003)

กลุ่มดาวเทียมทำงานอยู่ในวงโคจร Intermediate Circular Orbit (ICO) เช่น เดียวกับดาวเทียมระบบ GPS และ ดาวเทียม Galileo ที่ระดับความสูง 19,100 กิโลเมตร มีระยะเวลาโคจร 11 ชั่วโมง 15 นาที ในหนึ่งรอบ ด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 5 ดวง ตลอดเวลาบนพื้นโลก ดาวเทียม GLONASS ส่งสัญญาณนำร่องในสองย่านความถี่ได้แก่ L1 ความถี่ 1,602 MHz และ L2 ความถี่ 1,246 MHz ในปัจจุบัน GLONASS มีดาวเทียมปฏิบัติงานทั้งสิ้นจำนวน 19 ดวง (Russian Space Agency, 2009) แบ่งเป็นระนาบ I จำนวน 6 ดวง ระนาบ II จำนวน 6 ดวง และระนาบ III จำนวน 7 ดวง

2. ส่วนควบคุม Ground-based Control Facilities (Control Segment)

ระบบ GLONASS มีสถานีควบคุมหลัก System Control Center ตั้งอยู่ที่กรุงมอสโคว นอกจากนี้ยังมีเครือค่ายสถานีควบคุมและติดตามดาวเทียมตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศรัสเซีย ส่วนควบคุมจะทำการติดตามสถานะของกลุ่มดาวเทียม GLONASS เพื่อทำการคำนวณค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรและทำการส่งข้อมูลการนำหนให้แก่ดาวเทียม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. ส่วนผู้ใช้ User Equipment (User Segment)

ส่วนผู้ใช้ได้แก่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไปที่รังวัดค่าพิกัดด้วยการรับสัญญาณดาวเทียม GLONASS สำหรับการบริการความถูกต้องของระบบดาวเทียม GLONASS แบ่งออกเป็น 2 ระดับได้แก่

ความถูกต้องมาตรฐาน Standard Precision (SP) ให้ความถูกต้องทางราบที่ระดับ 55 เมตร และทางดิ่ง 70 เมตร

ความถูกต้องสูง Hcight Precision (HP) ให้ความถูกต้องที่ดีกว่าระดับ SP แต่จำกัดการใช้งานเฉพาะในทางทหารของรัสเซีย

ระบบนำร่องด้วยดาวเทียมของสหภาพยุโรป

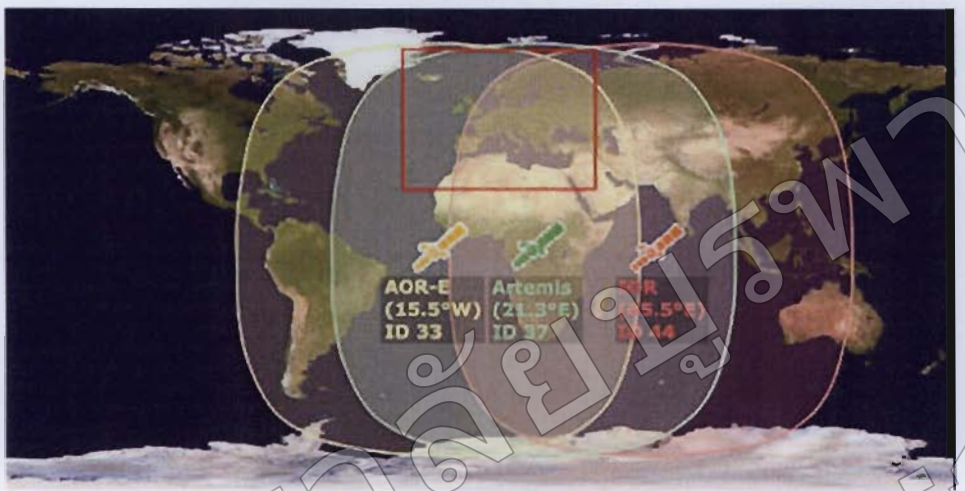
เป็นระบบนำร่องด้วยดาวเทียมภายใต้การควบคุมและพัฒนาโดย องค์การอวกาศแห่งยุโรป European Space Agency (ESA) เป็นผลอันเนื่องมาจากปัญหาด้านความเชื่อมั่นต่อระบบGPS เพราะเป็นระบบที่ควบคุมโดยทหาร องค์กรการบินพลเรือนและการบินเชิงพาณิชย์ จึงมีความกังวลในเรื่องเสถียรภาพของระบบในระยะยาวนอกจากนี้ความถูกต้องของค่าพิกัดในระบบ GPS มีความผิดพลาดค่อนข้างสูง แบ่งเป็น 2 โครงการย่อย (สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์, 2551) ได้แก่

1. โครงการดาวเทียม EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

EGNOS เป็นระบบช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำหน Satellite-based Augmentation System (SBAS) เพื่อใช้ในการนำร่องอากาศยาน การเดินสมุทร และการใช้งานภาคพื้นดินในทวีปยุโรป ระบบ EGNOS จะทำงานร่วมกับระบบ GLONASS และ GPS เพื่อทำให้ระบบมีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการความเสถียรสูงเช่น การนำร่องอากาศยานและการเดินเรือ นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงความถูกต้องของค่าพิกัดให้ดีขึ้นอีกด้วย ระบบ EGNOS สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ดังนี้ (Wilson, 2005)

เพิ่มขีดความสามารถในการรับสัญญาณด้วยการส่งสัญญาณลักษณะเดียวกับดาวเทียม GPS เพิ่มเติมโดยดาวเทียมสื่อสารจำนวน 3 ดวงที่อยู่ในวงโคจรค้างฟ้าเหนือทวีปยุโรป ได้แก่ ดาวเทียม INMMARSAT III จำนวน 2 ดวงคือ Atlantic Ocean Region-east (AOR-E) , Indian Ocean Region (IOR) และ ดาวเทียม ESA Telecommunications Satellite จำนวน 1 ดวง คือ Artemis การวางตัวของดาวเทียมทั้ง 3 แสดงในภาพที่ 23

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 23 การวางตัวของดาวเทียมสื่อสารในระบบ EGNOS (สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์, 2551)

ให้ความถูกต้องของค่าพิกัดที่ระดับ 1-2 เมตรในทางราบ และ 3-5 เมตรในทางดิ่ง มีความมั่นคงและปลอดภัยด้วยการแจ้งเตือนผู้ใช้ให้ทราบภายใน 6 วินาทีหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับดาวเทียม GPS

2. ระบบนำร่องด้วยดาวเทียม Galileo

Galileo เป็นระบบนำร่องที่พัฒนาโครงการโดยสหภาพยุโรป(EU) จำนวน25 ประเทศร่วมกับประเทศนอก EU ได้แก่ อาร์เจนตินา จีน อินเดีย อิสราเอล โมร็อคโค นอร์เวย์ เกาหลีใต้ และ ยูเครน ระบบ Galileo ประกอบด้วยกลุ่มดาวเทียมจำนวน 30 ดวง บรรจุอยู่ใน 3 ระนาบ แต่ละระนาบเอียงทำมุม 56 องศากับพื้นอีเควเตอร์ที่ความสูง 23,222 กิโลเมตร ในวงโคจร medium Earth orbit (MEO) ในแต่ละระนาบบรรจุด้วยดาวเทียมที่ใช้ปฏิบัติงานจำนวน 9 ดวงและดาวเทียมสำรองจำนวน 1 ดวง ดาวเทียมเดินทางครบรอบวงโคจรใช้เวลาประมาณ 14 ชั่วโมง ด้วยการวางตัวของกลุ่มดาวเทียมข้างต้นทำให้ระบบ Galileo สามาระให้บริการครอบคลุมได้ถึงแลตติจูด 75 องศาเหนือ (Wilson, 2005) ลักษณะของดาวเทียม Galileo ดังแสดงในภาพที่ 24

การให้บริการของระบบ Galileo มีดังนี้ (สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์, 2551)

1. การให้บริการทั่วไป (Open Service (OS)) ไม่มีค่าบริการสัญญาณนำร่องปรากฏที่ 2 ย่านความถี่ 1164 – 1214 MHz และ 1563 – 1591 MHz ให้ความแม่นยำ 4 เมตร ในแนวราบ 8 เมตร ในแนวดิ่งสำหรับเครื่องรับ 2 ย่านความถี่ และ 15 เมตร ในแนวราบ 35 เมตร ในแนวดิ่งสำหรับเครื่องรับ 1 ย่านความถี่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. การให้บริการในเชิงพาณิชย์ (Encrypted Commercial Service (CS)) มีการเก็บค่าบริการความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง ประมาณ 1 เมตร สามารถเพิ่มความแม่นยำได้ถึง 10 เซนติเมตรโดยใช้สัญญาณแก้ไขจากสถานีภาคพื้นดิน สัญญาณนำร่องแพร่ใน 3 ย่านความถี่ได้แก่ 2 ย่านความถี่ ที่ให้บริการแบบ OS และ 1 ย่านความถี่ ที่ 1260–1300 MHz

3. การให้บริการแก่หน่วยงานด้านความปลอดภัย (ทหาร ตำรวจ) หน่วยงานที่ดูแลความปลอดภัยในการขนส่ง (Encrypted Public Regulated Service (PRS) และ การช่วยเหลือกู้ภัย Safety of Life Service (SoL)) ให้ความแม่นยำในระดับเดียวกันกับ OS แต่เป็นบริการที่มีความน่าเชื่อถือสูงมีการป้องกันการกวนสัญญาณเพื่อตอบสนองความต้องการการแจ้งเตือนภายใน 10 วินาทีหากเกิดความผิดพลาดต่าง ๆ ภายในระบบ

4. สนับสนุนการค้นหาและช่วยชีวิตทั่วโลก (Global Search and Rescue) ดาวเทียม Galileo ให้บริการตรวจจับและส่งต่อสัญญาณจากอุปกรณ์ของระบบค้นหาและช่วยเหลือ Cospas-Sarsat ในย่านความถี่ 406.0–406.1 MHz เพื่อสนับสนุนแก่หน่วยงานต่าง ๆ

ภาพที่ 24 ดาวเทียม Galileo (Wilson, 2005)

สถานภาพโครงการ

ดาวเทียมทดสอบ GIOVE-A (Galileo In Orbit Validation Element) สร้างโดย Surrey Satellite Technology Limited (SSTL) ประเทศอังกฤษถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี ค.ศ. 2005 เพื่อทดสอบเทคโนโลยีและทดสอบการส่งสัญญาณนำร่อง

ดาวเทียมทดสอบ GIOVE-B สร้างโดยการมีส่วนร่วมของหลายประเทศนำโดย Astrium GmbH ประเทศเยอรมันส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี ค.ศ. 2008 ซึ่งล่าช้าจากกำหนดการเดิมเป็นเวลา 2 ปี เพื่อทดสอบการส่งสัญญาณนำร่องและทดสอบนาฬิกา hydrogen maser atomic clock

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ดาวเทียม Galileo 4 ดวงแรกมีกำหนดส่งขึ้นสู่วงโคจรในปลายปี ค.ศ. 2008 ถึงต้นปี ค.ศ. 2009 โดยมีชื่อว่า GIOVE-A2 สร้างโดย SSTL

ระบบนำร่องด้วยดาวเทียม Beiduo

Beidou เป็นระบบที่สร้างโดยสาธารณรัฐประชาชนจีนเพื่อให้บริการการนำร่องสำหรับผู้ใช้ในพื้นที่ประเทศจีน และแข่งขันกับระบบนำร่องด้วยดาวเทียมอื่น ๆ ที่มีใช้อยู่ทั่วโลกด้วยเหตุนี้ Beidou จึงแบ่งโครงการออกเป็น 2 โครงการย่อย (Haaften, 2007) ได้แก่

1. Beidou เป็นระบบนำร่องด้วยดาวเทียมที่ให้บริการเฉพาะในบริเวณประเทศจีน ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 3 ดวงในวงโคจร geostationary orbit สามารถให้บริการได้ตั้งแต่ longtitude 70° – 140° และ lattitude 5° – 55° ดาวเทียม Beidou 1A ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม ค.ศ. 2000 ต่อมาดาวเทียม Beidou 1B ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม ปีเดียวกัน และดาวเทียม Beidou 2A ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม ค.ศ. 2003 โดยดาวเทียมทั้งสามนี้ถูกออกแบบให้เป็นดาวเทียมทดสอบเพื่อพัฒนาไปสู่การเป็นระบบนำร่องด้วยดาวเทียมที่มีพื้นที่ให้บริการทั่วโลก

ระบบ Beidou ประกอบด้วยด้วยดาวเทียมจำนวน 3 ดวงในอวกาศ (ปฏิบัติงาน 2 สำรอง 1) และระบบภาคพื้นดิน (BeiDou 1 Experimental Satellite Navigation System, n.d.) ได้แก่

ส่วนควบคุมกลาง (Central control station)

สถานีติดตามดาวเทียม (3 ground tracking stations for orbit determination at Jamushi, Kashi and Zhanjiang)

สถานีแก้ไขความคลาดเคลื่อนภาคพื้นดิน (Ground correction stations)

ส่วนผู้ใช้ User terminals (receivers/transmitters)

การทำงานของระบบ Beidou ใช้หลักการส่งผ่านแบบสองทางระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดกับ Central Control Station โดย Central control station จะทำการส่งสัญญาณการค้นหาผ่านทางดาวเทียมสองดวงไปถึงเครื่องหาค่าพิกัด เมื่อเครื่องหาค่าพิกัดได้รับสัญญาณจากดาวเทียมดวงใดดวงหนึ่งจะทำการส่งสัญญาณตอบกลับไปยังดาวเทียมทั้งสองดวง จากนั้นเมื่อ Central Control Station ได้รับสัญญาณตอบกลับจากเครื่องหาค่าพิกัดผ่านทางดาวเทียมทั้งสองดวงจะทำการคำนวณค่าพิกัดสองมิติของเครื่องหาค่าพิกัดโดยใช้ความต่างเวลาระหว่างสัญญาณดาวเทียมทั้งสอง เมื่อได้ค่าพิกัดสองมิติแล้วจึงนำไปเทียบกับแผนที่ดิจิตอลเพื่อคำนวณค่าพิกัดสามมิติ ค่าพิกัดสามมิตินี้จะถูกส่งกลับไปให้เครื่องหาค่าพิกัดผ่านทางดาวเทียมดังภาพที่ 25

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ 25 การทำงานของระบบ Beidou (Haaften, 2007)

ระบบ Beidou ให้ความถูกต้องที่ระดับ 100 เมตร และ ดีกว่า 20 เมตรในการรังวัดแบบปรับแก้ผลต่าง สามารถรองรับรองรับผู้ใช้งานได้ 540,000 เครื่องต่อชั่วโมง และ 150 เครื่องพร้อม ๆ กัน (Kramer, 2002)

2. Beidou-2 (Compass) เป็นระบบนำร่องด้วยดาวเทียมที่พัฒนาต่อมาจากระบบ Beidou เพื่อให้มีพื้นที่บริการครอบคลุมทั่วโลกและมีความถูกต้องของค่าพิกัดที่ดีกว่าระบบ Beidou เดิม สาเหตุที่จีนทำการพัฒนาระบบนำร่องด้วยดาวเทียมขึ้นใช้เองนี้เนื่องมาจากต้องการความเป็นเอกเทศแยกออกจากระบบนำร่องของชาติมหาอำนาจอื่น ๆ ในโลก (สมภพ ภูริวิกรัยพงศ์, 2551)

ระบบดาวเทียม Compass แบ่งเป็น 3 ส่วน (China Satellite Navigation Project Center, 2008) ได้แก่

1. ส่วนอวกาศ ประกอบด้วยกลุ่มดาวเทียมจำนวน 35 ดวง (Huang, &Tsai, 2008) ได้แก่

1.1 จำนวน 5 ดวงในวงโคจร geostationary orbit (GEO) โดยโคจรอยู่ที่ Longitudes 58.75°E, 80°E, 110.5°E, 140°E และ 160°E ตามลำดับ

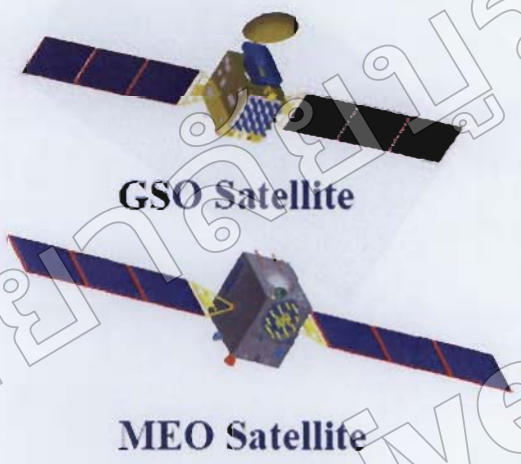
1.2 จำนวน 27 ดวงในวงโคจร Medium Earth Orbit (MEO) แบ่งเป็น 3 ระนาบแต่ละระนาบเอียงทำมุม 55.5° ที่ความสูง 21,500 กิโลเมตร

1.3 จำนวน 3 ดวงในวงโคจร Inclined Geosynchronous Orbit (IGSO)

ดาวเทียมดวงแรกของระบบได้แก่ Compass-M1 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี ค.ศ. 2007 ดวงที่สอง Compass-G2 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อเดือนเมษายน ค.ศ. 2009 ในปีเดียวกันนี้ยังมีดาวเทียมอีกจำนวน 3 ดวงอยู่ในแผนการส่งขึ้นสู่วงโคจร ดาวเทียมอีก 10 ดวงมีแผนการส่งขึ้นสู่วง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โคจรภายในสองปีต่อจากดาวเทียม Compass-G2 คาดว่าในปี ค.ศ. 2010 ระบบดาวเทียม Compass จะให้บริการได้ครอบคลุมทั่วประเทศจีน และในปี ค.ศ. 2020 จะสามารถให้บริการได้ครอบคลุมทั่วโลก (Shen, 2009) ลักษณะของดาวเทียมในระบบ Compass แสดงในภาพที่ 26



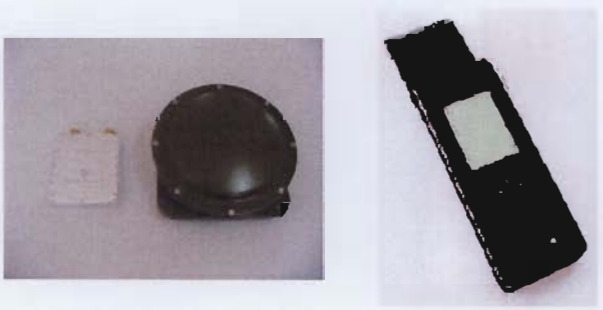
ภาพที่ 26 ดาวเทียมในระบบ Compass (China Satellite Navigation Project Center, 2008)

2. ส่วนภาคพื้นดิน

ประกอบด้วย Master Control Station Upload Stations และ Monitor Stations

3. ส่วนผู้ใช้

ได้แก่เครื่องหาค่าพิกัดแบบต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 เครื่องหาค่าพิกัดในระบบ Compass (China Satellite Navigation Project Center, 2008)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าพิกัดที่รังวัดได้ในระบบนำร่องด้วยดาวเทียม Compass อ้างอิงบนพื้นหลักฐาน China Geodetic System (CGS2000) โดยแบ่งความถูกต้องของค่าพิกัดที่ให้บริการดังนี้

1. การให้บริการทั่วไป (Open Service) ให้บริการฟรีและไม่จำกัดการใช้งานความถูกต้องของค่าพิกัดที่ระดับ 10 เมตร ความถูกต้องของเวลาที่ระดับ 10 ns ความถูกต้องของความเร็วที่ 0.2 m/s

2. การให้บริการที่ต้องได้รับอนุญาต (Authorized Service) ให้ความแม่นยำสูงสุดแต่จำกัดการให้บริการเฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น

สำหรับในประเทศจีนเมื่อระบบเสร็จสมบูรณ์จะมีการให้บริการค่าแก้ในรูปแบบ Wide area differential service ซึ่งจะให้ความถูกต้องที่ระดับ 1 เมตร

ระบบนำร่องด้วยดาวเทียม Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

ในปี ค.ศ.2006 The United Nations ได้จัดตั้งคณะกรรมการการให้บริการระบบนำร่องด้วยดาวเทียมร่วมกันในระดับนานาชาติภายใต้ชื่อ The International Committee on Global Navigation Satellite Systems (ICG) ประกอบด้วยการให้บริการในสองรูปแบบ คือ

1. ระบบบริการหลัก เป็นการให้บริการการรังวัดค่าพิกัดที่ไม่จำกัดการเข้าใช้งาน สามารถให้บริการได้ครอบคลุมทั่วโลก ได้แก่ ระบบ GPS ของประเทศสหรัฐอเมริกา ระบบ GLONASS ของสมาพันธรัฐรัสเซีย ระบบ GALILEO ของสหภาพยุโรป และระบบ COMPASS ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

2. ระบบบริการเสริม เป็นการให้บริการค่าแก้ในการรังวัดหรือระบบที่ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการรังวัด ได้แก่ ระบบ WAAS ของประเทศสหรัฐอเมริกาให้บริการครอบคลุมพื้นที่ทวีปอเมริกาเหนือทำการส่งค่าแก้ของการรังวัดในระบบ GPS ระบบ The Russian system of differential correction and monitoring (SDCM) ให้บริการในพื้นที่ของสมาพันธรัฐรัสเซียให้บริการค่าแก้ในระบบ GPS ร่วมกับระบบ GLONASS ระบบ EGNOS ให้บริการครอบคลุมพื้นที่ทวีปยุโรปให้บริการค่าแก้ในระบบ GALILEO ระบบ GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN) ให้บริการในประเทศอินเดีย ระบบ The MTSAT (Multi-functional Transport Satellite) Satellite-based Augmentation Systems (MSAS) ให้บริการแก่อากาศยานในประเทศญี่ปุ่น ระบบ Quasi-zenith Satellite System (QZSS) ถูกออกแบบให้เสริมการปฏิบัติงานของระบบ GPS เพื่อให้ผู้ใช้ในประเทศญี่ปุ่นสามารถรังวัดสัญญาณดาวเทียมได้อย่างน้อย 3 ตวง ตลอดเวลาโดยดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรค้างฟ้าจะทำการส่งสัญญาณการนำร่องในแบบเดียวกับระบบ GPS เพิ่มเติมให้แก่ผู้ใช้ ระบบ Nigerian Communications Satellite (NIGCOMSAT-1)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เป็นระบบที่ให้บริการในประเทศไนจีเรียและยังเป็นระบบในเครือข่าย GNSS ระบบแรกในทวีปแอฟริกา(Secretariat of the International Committee on Global Navigation Satellite Systems, 2006)

ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งและการนำไปใช้

ค่าพิกัดดาวเทียม GPS ที่รังวัดได้นั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายกิจกรรม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมาตรฐานและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่แต่ละกิจกรรมสามารถยอมรับได้ แต่ไม่ว่าจะนำค่าพิกัดดาวเทียม GPS ไปใช้กับงานด้านใดสิ่งที่จะต้องใช้ควบคู่กันไปเสมอคือแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ ดังนั้นการกำหนดมาตราส่วนหรือชนิดของแผนที่ให้เหมาะสมกับความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดดาวเทียม GPS จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งดังตัวอย่างต่อไปนี้

I. ความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่

เนื่องจากแผนที่ไม่สามารถแสดงรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร หรือ 0.0002 เมตร ได้ หมายความว่าตำแหน่งของรายละเอียดใด ๆ ที่ปรากฏบนแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ หากมีขนาดเล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร แล้วจะทำให้ไม่สามารถรับรู้ถึงความคลาดเคลื่อนนั้นได้ ดังนั้นสามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่เกิดขึ้นในภูมิประเทศจริงได้จากสมการ (กาญจนะดิษฐ์ ใยเกตุ, 2546)

$$\text{errors of position} = 0.0002 \times \text{map scale} \quad (\text{m.}) \tag{2}$$

สำหรับค่าที่คำนวณได้ในสมการที่ 2 จะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบที่ยอมรับได้สำหรับแผนที่แต่ละมาตราส่วนเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการแสดงรายละเอียดของวัตถุ

2. มาตราส่วนของแผนที่

หากพิจารณาตามมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งจะสามารถระบุค่าความถูกต้องตามมาตราส่วนและ class ของแผนที่ที่จะนำไปใช้ได้ดังตารางที่ 2 (กองทำแผนที่, ม.ป.ป.)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2 มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ (กองทำแผนที่, ม.ป.ป.)

Horizontal Accuracy Specification of Map			
Scale	$RMSE_H$ (m.)		
	Class I	Class II	Class III
1 : 100	0.025	0.050	0.075
1 : 500	0.125	0.250	0.375
1 : 1,000	0.250	0.500	0.750
1 : 2,000	0.500	1.000	1.500
1 : 4,000	1.000	2.000	3.000
1 : 5,000	1.250	2.500	3.750
1 : 10,000	2.500	5.000	7.500
1 : 20,000	5.000	10.000	15.000

3. มาตราส่วนและลักษณะภูมิประเทศ

โครงการจัดทำแผนที่เพื่อบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพย์สินของกระทรวงเกษตรและ สหกรณ์ มีการผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธสี ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ ยกเว้น บริเวณ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ คือ ยะลา ปัตตานี นราธิวาส พื้นที่บางส่วนของจังหวัดสงขลา บริเวณแนวชายแดน ไทย-ลาว และพื้นที่บางส่วนที่ไม่สามารถผลิตแผนที่ให้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดทางเทคนิคของโครงการได้ เพื่อให้หน่วยงานภายในกระทรวง หน่วยงานภาครัฐและเอกชนนำไปใช้ประโยชน์ จัดทำในสองมาตราส่วนคือ มาตราส่วน 1:4,000 และ 1:25,000 โดยมีมาตรฐานความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ส่วนเทคโนโลยีการบริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ, 2551) ดังนี้

บริเวณพื้นที่ราบ หรือบริเวณที่มีความลาดชันไม่เกิน 35 % ความถูกต้องทางราบ 1 เมตรหรือดีกว่า

บริเวณที่มีความลาดชันเกิน 35 % ความถูกต้องทางราบ 2 เมตรหรือดีกว่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. การสำรวจทางสมุทรศาสตร์

Federal Geographic Data Committee (FGDC) ได้กำหนดมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแยกตามประเภท (Order) ของการสำรวจดังนี้ (Federal Geographic Data Committee, 2005)

Special Order ความถูกต้องทางราบ 2 เมตร ได้แก่ พื้นที่บริเวณท่าเรือหรือจุดจอดเรือ พื้นที่ที่มีความอันตราย ร่องน้ำที่ตื้นเขินเป็นต้น

Order 1 ความถูกต้องทางราบ 5 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ บริเวณท่าเรือและพื้นที่ใกล้เคียง ร่องน้ำและชายฝั่งที่มีความลึกไม่เกิน 100 เมตร

Order 2 ความถูกต้องทางราบ 20 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ บริเวณที่มีความลึกน้อยกว่า 200 เมตรซึ่งไม่ได้รวมอยู่ในงาน Special Order และ Order 1

Order 3 ความถูกต้องทางราบ 150 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ บริเวณนอกชายฝั่งและพื้นที่ทั้งหมดที่ไม่ได้อยู่ในงาน Special Order , Order 1 และ Order 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งในการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS มีผู้ได้ศึกษาและวิจัยแบ่งตามหัวข้อต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

ระบบ DGPS สามารถปรับปรุงค่าพิกัดที่รังวัดจากเครื่องรับแบบนำหนให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงได้แต่ระบบยังมีข้อจำกัดเนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ ดังตัวอย่างที่มีผู้ได้ทำวิจัยไว้คือ Landau, Vollath & Chen (2002) ได้ทดลองรังวัดค่าพิกัดดาวเทียม GPS ในระบบ DGPS โดยจัดตั้งสถานีอ้างอิงให้มีระยะห่างระหว่างสถานีแต่ละแห่งไม่เท่ากัน ผลการทดลองพบว่าค่าพิกัดจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยเมื่อระยะห่างระหว่างสถานีแต่ละแห่งมีค่าน้อยและความคลาดเคลื่อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะห่างระหว่างสถานีที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ หัสฎี วงศ์อิศเรศ (2546) ได้วิจัยเรื่องความคลาดเคลื่อนของระบบ Real Times DGPS โดยทำการตั้งสถานีอ้างอิงที่หมุดหลักฐานชั้น 1 ของกรมแผนที่ทหารหมายเลข 3166 จากนั้นทำการรังวัดค่าพิกัดแล้วส่งค่าแก้ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบจีเอสเอ็มให้แก่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบนำหนที่ทำการเก็บข้อมูลบนหมุดหลักฐานที่ต้องการศึกษาจำนวน 18 หมุด ผลการวิจัยพบว่าความคลาดเคลื่อนของระบบ Real Time DGPS มีความสัมพันธ์กับระยะทางระหว่างสถานีอ้างอิงกับผู้ใช้ โดยขนาดของความคลาดเคลื่อนจะแปรผันตามระยะทางคือ ระยะทาง 0-100 กิโลเมตร ความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกิน 0.80 เมตร ระยะทาง 101-200 กิโลเมตร ความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกิน 1.2 เมตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การรังวัดค่าพิกัดในระบบ DGPS มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าการรังวัดแบบทั่วไปค่าพิกัดที่รังวัดได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ในหลายรูปแบบดังเช่น กาญจนะดิษฐ์ ใยเกตุ (2546) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบนำหนในการปรับปรุงข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นโดยได้ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แบบนำหนจำนวนสองรุ่น คือ Trimble GeoExplorer3 และ Trimble Pathfinder Pocket ทำการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลคลองสี่ด้วยวิธีการรังวัดแบบสัมบูรณ์และแบบปรับแก้ผลต่าง ผลการศึกษาพบว่าเครื่องรับสัญญาณรุ่น Trimble GeoExplorer3 มีความคลาดเคลื่อนในการรังวัดแบบสัมบูรณ์ประมาณ 2.295 เมตรเหมาะสมในการปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1:12,500 และมีความคลาดเคลื่อนในการรังวัดแบบปรับแก้ผลต่างประมาณ 1.961 เมตร เหมาะสมในการปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1:10,000 สำหรับเครื่องรับสัญญาณรุ่น Trimble Pathfinder Pocket มีความคลาดเคลื่อนในการรังวัดแบบสัมบูรณ์ประมาณ 2.140 เมตรเหมาะสมในการปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1:12,500 และมีความคลาดเคลื่อนในการรังวัดแบบปรับแก้ผลต่างประมาณ 0.983 เมตร เหมาะสมในการปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1:5,000

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ GPS กับระบบการทำงานโดยวิธีอื่น สมชาย สีสม (2542) ได้ศึกษาการปรับปรุงระวางแผนที่เป็นระบบยูทีเอ็มโดยใช้การรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS เปรียบเทียบกับการรังวัดด้วยรูปถ่ายทางอากาศปรับแก้ พื้นที่ศึกษาได้แก่ พื้นที่ปฏิรูปที่ดิน จังหวัดเพชรบูรณ์ แบ่งการดำเนินการเป็น 3 วิธี คือ การปรับปรุงระวาง แผนที่โดยใช้ค่าพิกัดจาก GPS แบบความถี่เดียวยี่ห้อ Trimble รุ่น Pro XL การปรับปรุงระวางแผนที่โดยใช้รูปถ่ายปรับแก้ และการรังวัดโดยวิธีวงรอบตามมาตราฐานของ Federal Geodetic Control Committee(FGCC) เกณฑ์งานชั้นที่ 3 ประเภทที่ 1 ทำการรังวัด Offset เก็บรายละเอียดกลุ่มตัวอย่าง 262 จุด กระจายทั่วพื้นที่ศึกษาเพื่อนำค่าพิกัดจากการรังวัดวิธีวงรอบเป็นมาตราฐานในการเปรียบเทียบความละเอียดตำแหน่งทางราบ ผลการศึกษาวิจัยพบว่าการปรับปรุงระวางด้วย GPS มีความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบ 3.170 เมตร การปรับปรุงระวางด้วยรูปถ่ายปรับแก้มีค่า 6.092 เมตร ซึ่งจุดที่มีความคลาดเคลื่อนมากส่วนใหญ่เป็นที่เนินซึ่งเป็นความผิดด้าน Relief Displacement การปรับปรุงระวางด้วย GPS มีความละเอียดทางตำแหน่งมากกว่าการปรับปรุงระวางด้วยรูปถ่ายปรับแก้ 1.92 เท่า

การรับค่าแก้ในระบบ DGPS ทำได้ในหลายช่องทางเช่น วิทยุคลื่นสั้น ทางโทรศัพท์ และทางอินเทอร์เน็ตโดยการรับค่าแก้ผ่านทางอินเทอร์เน็ตเป็นช่องทางที่มีความอ่อนตัวสูงและมีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่ดีกว่าช่องทางอื่นการเชื่อมต่อสามารถทำได้ในหลายรูปแบบเช่น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเชื่อมต่อผ่าน GPRS EDGE และ 3G โดย สุธี เทียนคำ (2549) ได้ศึกษาเรื่องการใช้งาน DGPS ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งและการนำไปประยุกต์ในงานด้านต่าง ๆ ได้ทดสอบติดตามยานพาหนะโดยใช้เครื่องรับแบบนำหนทำการรังวัดแบบสัมพัทธ์โดยรับค่าแก้ทางอินเตอร์เน็ตด้วยโปรโตคอล NTRIP แล้วทำการแสดงผลบนแผนที่มาตราส่วน 1:4000 ผลการทดสอบพบว่าการใช้งาน DGPS ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อติดตามยามพาหนะสามารถใช้งานได้ดีโดยมีค่าความถูกต้องทางราบดีกว่าการใช้งานในรูปแบบปกติ ค่าพิกัดที่รังวัดได้ในระบบ DGPS มีความถูกต้องเพียงพอต่อการใช้งานร่วมกับแผนที่มาตราส่วน 1:4000

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University